

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Comparación de métodos para el cálculo de la carga de viento
usada en la construcción de edificios en el Ecuador**

**Alex Othón Pacheco Erazo
Hugo Francisco Tohala Parrales
Telmo Sánchez, Ph.D., Director de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, mayo de 2015

**Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingeniería**

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Comparación de métodos para el cálculo de la carga de viento
usada en la construcción de edificios en el Ecuador**

**Alex Pacheco Erazo
Hugo Tohala Parrales**

Telmo Sánchez, Ph.D.
Director de Tesis
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fernando Romo, Msc.
Director del Departamento de Ing. Civil
Miembro del Comité de Tesis

.....

Fabricio Yépez, Ph.D.
Miembro del Comité de Tesis

.....

Ximena Córdova, Ph.D.
Decana de la Escuela de Ingeniería

.....

Quito, mayo de 2015

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Alex Othón Pacheco Erazo

C. I.: 0926516402

Firma:

Nombre: Hugo Francisco Tohala Parrales

C. I.: 1310411671

Fecha: Quito, mayo de 2015

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de manera especial a mis padres, mis formadores a lo largo de la vida, pilares y artífices de mis logros. A mis hermanos, ellos han sido mis amigos, compañeros y confidentes en este largo camino. Y a mis amigos, que fueron, y son, ese apoyo incondicional que en estos 5 años de estudio han sido para mí, en las celebraciones y en las derrotas. A todos les guardo un afecto y cariño especial.

Alex Pacheco.

Dedico este trabajo a mis padres, Hugo, Mercedes, Francisco y Mildred, quienes han sacrificado mucho para que yo esté donde estoy ahora y me han inculcado los valores y principios que han forjado el hombre que soy hoy en día. A mis hermanos y tíos, quienes siempre me han apoyado a lo largo de todo este camino. En especial a mi hermana con quien he vivido y aprendido mucho durante mi vida. Y a mis amigos, con quienes he vivido momentos inolvidables de mutuo apoyo y respeto.

Hugo Tohala

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por proveerme de esa fuerza y empuje espiritual que muchas veces busqué y en Él encontré. De manera especial a mis padres por concederme el apoyo necesario, en todos los aspectos, para sacar adelante todos mis proyectos. A mis hermanos, Narda y Adrián, por ser esa compañía incondicional para nunca perder los lazos familiares que nos unen a pesar de la distancia. A mis buenos amigos, Hugo, Priscila, Bryan y Carolina, y a mis tutores y mentores dentro de la universidad que han ayudado a la consecución de este importante logro.

Alex Pacheco.

Agradezco a Dios, por darme la fuerza que necesité y necesitaré por muchas ocasiones para poder cumplir con mis metas trazadas. A mis padres, abuelos, hermanos y tíos por siempre estar a mi lado en los momentos de tristeza y en los de alegría, siempre motivándome a seguir adelante sin rendirme ante las adversidades. De manera especial agradezco a Paola, por demostrarme que las amistades incondicionales, desinteresadas y sinceras existen, en ella encontré una verdadera amistad con la cual siempre contaré.

Hugo Tohala

Resumen

El presente trabajo de titulación pretende establecer parámetros que permitan determinar el impacto del flujo del viento sobre las estructuras ubicadas en distintos sitios dentro del país. En este caso se consideran dos edificaciones distintas. La primera es un edificio de geometría regular, el cual es analizado para un sector dentro de la ciudad de Quito, y para otro sector en la ciudad de Guayaquil. El segundo edificio corresponde al proyecto "Swiss Towers" ubicado en la ciudad de Guayaquil. Este análisis se lo realiza tomando en consideración las normativas de países como Ecuador, Perú, Colombia, México y Estados Unidos. Dentro de estas normativas se presentan distintos parámetros relacionados con la geometría de la estructura, la ubicación, la topografía, y las características de los alrededores de donde está ubicada. Estos parámetros junto con la velocidad de diseño del viento medida específicamente para el sector de estudio, son los que determinan la presión del viento que se obtiene a través de la aplicación de cada norma. Finalmente, se realiza un análisis que permite mostrar de manera gráfica que a pesar de que las normas siguen un procedimiento similar para el análisis de la carga de viento, los coeficientes y condiciones distintos para cada norma hacen que la presión ejercida por el flujo del viento sea diferente para cada norma y para cada sector que se analiza.

Abstract

This paper aims to establish parameters to help us to determine the impact of the wind flow over the structures located in different places within the country. In this case we consider two different buildings. The first building is a regular geometry, which is analyzed for a sector within the city of Quito, and for other business in the city of Guayaquil. The second building is for the project "Swiss Towers" located in the city of Guayaquil. This analysis is performed taking into consideration the standards of countries like Ecuador, Peru, Colombia, Mexico and the United States. Within these regulations are presented various parameters related to the geometry of the structure, location, topography, and characteristics of the surroundings of where is located. These parameters along with the design speed of the wind measured specifically for the study sector, they are the ones who determine the wind pressure is obtained through the application of each standard. Finally, an analysis is carry out which allows you to display in a graphical matter that spite of the fact that the rules they follow a similar procedure for the analysis of wind load, the coefficients and different conditions for each standard rule make the pressure exerted by the wind flow is different from each standard and each sector being analyzed.

Tabla de contenido

Resumen	7
Abstract	8
INTRODUCCIÓN	21
CAPÍTULO 0	22
a. Metodología	22
1 CAPÍTULO I	24
1.1 Planteamiento del Problema	24
1.2 Objetivos del Trabajo	25
1.2.1 Objetivo General.....	25
1.2.2 Objetivos Específicos	25
1.3 Revisión Literaria	26
1.4 Justificación del Trabajo.....	28
2 CAPÍTULO II	30
2.1 Marco teórico	30
3 CAPÍTULO III	32
3.1 Características geométricas de primer edificio de estudio.	32
3.2 Características geométricas del segundo edificio en estudio: Swiss- Tower.....	35
4 CAPÍTULO IV	38
4.1 Metodología para Determinar la Velocidad de Viento	38
4.2 Recopilación de datos	41
4.2.1 Quito: sector Cotocollao	41
4.2.2 Guayaquil: estación meteorológica U. Estatal.	42
4.3 Cálculo y Determinación de la velocidad del viento	44

	10
4.3.1	Quito 44
4.3.2	Guayaquil 48
5	CAPÍTULO V 52
5.1	Aplicación del método analítico de la norma ASCE7-10 para el cálculo de la presión de viento..... 52
5.1.1	Primer edificio de estudio: Quito, Ecuador..... 52
5.1.2	Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador. 64
5.1.3	Segundo edificio de estudio: SwissTowers..... 72
5.2	Aplicación del método analítico de la Norma Sismo Resistente de Colombia (NSR-10) para el cálculo de la presión de viento. 86
5.2.1	Primer edificio de estudio: Quito, Ecuador..... 86
5.2.2	Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador. 99
5.2.3	Segundo edificio de estudio: SwissTowers..... 107
6	CAPÍTULO VI 120
6.1	Aplicación de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento de México. 120
6.1.1	Primer edificio de estudio: Aplicación del método estático para el cálculo de la presión de viento en Quito..... 120
6.1.2	Primer edificio de estudio: Aplicación del método estático para el cálculo de la presión de viento en Guayaquil. 130
6.1.3	Segundo edificio de estudio, SwissTowers: Aplicación del método estático y dinámico para el cálculo de la presión de viento..... 135
7	CAPÍTULO VII 160
7.1	Aplicación del método analítico de la norma Peruana E020 para el cálculo de la presión de viento..... 160
7.1.1	Primer edificio de estudio: Quito, Ecuador..... 160

7.1.2	Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador.....	167
7.1.1	Segundo edificio de estudio: SwissTowers.....	170
8	CAPÍTULO VIII.....	177
8.1	Aplicación de la Norma Ecuatoriana para la Construcción (NEC-11) en el cálculo de la presión de viento.....	177
8.1.1	Primer edificio de estudio: Quito, Ecuador.....	177
8.1.2	Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador.....	184
8.1.3	Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador.....	187
9	CAPÍTULO VIII.....	191
9.1	Análisis y comparación de los códigos utilizados en base a los resultados.....	191
9.1.1	Primer edificio de estudio.....	191
9.1.2	Segundo edificio de estudio: Swiss Towers.....	200
9.2	Conclusiones.....	206
10	BIBLIOGRAFÍA.....	209
11	ANEXOS.....	212
11.1	Registro de Velocidades del viento en Cotocollao, Quito.....	212
11.2	Registro de Velocidades del viento en estación Meteorológica U. Estatal, Guayaquil.....	212

Tabla de Contenido: Figuras

Figura 3.1 Vista tridimensional de primer edificio de estudio.	32
Figura 3.2 Vista en planta de primera edificación de estudio, dimensiones de su cubierta.	33
Figura 3.3 Ubicación de proyecto hotelero SwissTowers en la ribera del río Guayas, Guayaquil, Ecuador. Foto tomada de swisstower.com.ec (Swiss Towers, 2014).....	35
Figura 3.4 Plano con las dimensiones de la estructura y ubicación de elementos estructurales; proporcionado por Fernando Romo, Ph.D. (Romo, 2015).	36
Figura 3.5 Complejo hotelero Swiss-Towers a la izquierda (Guayaquil es mi Destino, 2014); SwissTowers: elementos finales a considerar en los cálculos de presión de viento (derecha).	37
Figura 4.1 Curva binomial, tomado de tesis de Hurtado (2009)	41
Figura 4.2 Ubicación de estaciones meteorológicas a nivel nacional. Tomado de Hurtado (2009)	43
Figura 5.1 Cargas distribuidas de viento en barlovento (izq), sotavento (der) y cubierta (sup); vista lateral.	63
Figura 5.2 Cargas distribuidas de viento en paredes laterales (der. & izq.) y cubierta (sup.); vista frontal.....	63
Figura 5.3 Distribución de la carga de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.); vista lateral.	71
Figura 5.4 Distribución de cargas en paredes laterales (izq. & der.) y cubierta (sup.); vista frontal.....	71
Figura 5.5 Cargas distribuidas de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.); vista lateral.	85
Figura 5.6 Cargas distribuidas de viento en paredes laterales (izq. & der.) y cubierta (sup.); vista frontal.....	85
Figura 5.7 Condiciones topográficas que deben cumplir las áreas en estudio considerando el aumento de velocidad del viento en colinas o escarpes (NSR-10, 2010).	91

Figura 5.8 Carga distribuida de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.); vista lateral.	97
Figura 5.9 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. & der) y cubierta (sup.); vista frontal.	98
Figura 5.10 Cargas distribuidas de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.), vista lateral.	106
Figura 5.11 Cargas distribuidas de viento en paredes laterales (izq. & der) y cubierta (sup.); vista frontal.	106
Figura 5.12 Distribución de cargas de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.); vista lateral.	119
Figura 5.13 Cargas distribuidas de viento en paredes laterales (izq. & der.) y cubierta (sup.); vista frontal.	119
Figura 6.1 Formas topográficas locales, de acuerdo a lo descrito en la Tabla 6.3..	124
Figura 6.2 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).....	128
Figura 6.3 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. y der.) y Cubierta (sup.).....	129
Figura 6.4 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).....	134
Figura 6.5 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. y der.) y Cubierta (sup.).....	134
Figura 6.6 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta.....	142
Figura 6.7 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. y der.) y Cubierta (sup.).....	143
Figura 6.8 Parámetro B para calcular el factor de respuesta dinámica.	144
Figura 6.9 Parámetro S para calcular el factor de respuesta dinámica.	145
Figura 6.10 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).....	158
Figura 6.11 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. y der.) y Cubierta (sup.).....	159

Figura 7.1Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).....	166
Figura 7.2Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).....	169
Figura 7.3Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).....	176
Figura 8.1Distribución de cargas de viento en la Cubierta.....	182
Figura 8.2 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.) y Cubierta (sup.).....	183
Figura 8.3 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.) y Cubierta (sup.).....	186
Figura 8.4 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.) y Cubierta (sup.).....	190

Tabla de Contenido: Tablas

TABLA 4.1. DESARROLLO DE DISTRIBUCIÓN DE PEARSON III.	39
Tabla 4.2 Probabilidades en porcentaje (%) versus el coeficiente de asimetría (Cs), para obtener el coeficiente \emptyset . Tomado de Hurtado (2009).....	40
Tabla 4.3 Registro de velocidades máximas anuales en el sector de Cotocollao. Fuente: Secretaria de Ambiente.....	42
Tabla 4.4 Registro de velocidades máximas anuales en la estación U. Estatal. Fuente: INAMHI.....	44
Tabla 4.5 Datos de velocidad máxima anual del viento para Quito entre 2007 y 2014; resultados de parámetros para desarrollo de la distribución de Pearson.	45
Tabla 4.6 Periodo de retorno, probabilidad de excedencia, constante \emptyset y velocidad máxima probable.....	46
Tabla 4.7 Valores típicos de velocidad de viento máxima a emplear en el presente trabajo.	48
Tabla 4.8 Datos de velocidad máxima anual del viento para Guayaquil entre 1992 y 2012; resultados de parámetros para desarrollo de la distribución de Pearson.	48
Tabla 4.9 Periodo de retorno, probabilidad de excedencia, constante \emptyset y velocidad máxima probable.....	50
Tabla 4.10 Valores típicos de velocidad de viento máxima a emplear en el presente trabajo.	51
Tabla 5.1 Categorización de riesgo para estructuras y edificaciones (ASCE, 2010).	52
Tabla 5.2 Factor de direccionalidad del viento (ASCE, 2010).	54
Tabla 5.3 Coeficientes de Presión Interna (GC_{pi}), para edificaciones cerradas, parcialmente cerradas o abiertas (ASCE, 2010).	55
Tabla 5.4 Coeficiente de exposición de presión de velocidad (ASCE, 2010).....	56
Tabla 5.5 Valores de K_z a distintas alturas en una edificación categoría B de exposición.	57
Tabla 5.6 Valores de q_z a diferentes alturas.....	58
Tabla 5.7 Valores de C_P para paredes y techos de las edificaciones (ASCE, 2010).	59
Tabla 5.8 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.....	61

Tabla 5.9Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.	62
Tabla 5.10Valores de K_z a distintas alturas en una edificación categoría B de exposición, caso 2.....	66
Tabla 5.11 Valores de q_z a diferentes alturas para primer edificio de estudio.	67
Tabla 5.12 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.	69
Tabla 5.13 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.	70
Tabla 5.14Constantes de exposición del terreno, sistema métrico (ASCE, 2010). ...	75
Tabla 5.15 Valores de K_z a distintas alturas en una edificación categoría B de exposición aplicando el caso 2.....	80
Tabla 5.16 Valores de K_z para alturas mayores a 152 metros.	80
Tabla 5.17Valores de q_z a diferentes alturas.....	81
Tabla 5.18Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.	83
Tabla 5.19Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.....	84
Tabla 5.20 Factor de direccionalidad del viento (NSR-10, 2010).	86
Tabla 5.21 Definición de los grupos de tipo de uso (NSR-10, 2010).....	87
Tabla 5.22 Factor de Importancia (NSR-10, 2010).....	88
Tabla 5.23 Categorías de rugosidad del terreno (NSR-10, 2010).	89
Tabla 5.24 Categorías de exposición (NSR-10, 2010).....	89
Tabla 5.25 Coeficiente de exposición de presión por velocidad (NSR-10, 2010).....	90
Tabla 5.26 Valores de K_z a distintas alturas en una edificación categoría B de exposición.	91
Tabla 5.27 Valores de q_z a diferentes alturas.....	92
Tabla 5.28 Coeficientes de Presión Interna (GC_{pi}), para edificaciones cerradas, parcialmente cerradas o abiertas (NSR-10, 2010).	93
Tabla 5.29 Coeficientes de presión externa, C_p (NSR-10, 2010).....	94
Tabla 5.30 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.	95
Tabla 5.31 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.....	97

Tabla 5.32 Valores de K_z a distintas alturas en la edificación categoría B de exposición.	101
Tabla 5.33 Valores de q_z a diferentes alturas.....	102
Tabla 5.34 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.....	104
Tabla 5.35 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.....	105
Tabla 5.36 Valores de K_z a distintas alturas en la edificación categoría B de exposición.	109
Tabla 5.37 Valores de K_z para alturas mayores a 152 metros.	109
Tabla 5.38 Constantes de exposición del terreno (NSR-10, 2010).	111
Tabla 5.39 Valores de q_z a diferentes alturas.....	114
Tabla 5.40 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.....	117
Tabla 5.41 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.....	118
Tabla 6.1 Rugosidad del terreno.	122
Tabla 6.2 Valores obtenidos para el factor de variación con respecto a la altura....	124
Tabla 6.3 Factor F_{TR} (Factor de Topografía y Rugosidad del Terreno).	124
Tabla 6.4 Velocidad de diseño a distintas alturas.	125
Tabla 6.5 Coeficiente C_p , para construcciones cerradas.	126
Tabla 6.6 Presión de diseño del viento, P_z	127
Tabla 6.7 Valores obtenidos para el factor de variación con respecto a la altura....	131
Tabla 6.8 Velocidad de diseño calculado a distintas alturas.	132
Tabla 6.9 Presión de diseño del viento, P_z	133
Tabla 6.10 Valores obtenidos para el factor de variación con respecto a la altura..	137
Tabla 6.11 Velocidad de diseño calculado para distintas alturas.	138
Tabla 6.12 Presión de diseño en la pared de barlovento.	140
Tabla 6.13 Presión de diseño para las paredes laterales.....	141
Tabla 6.14 Presión de diseño en la pared de sotavento.	141
Tabla 6.15 Presión de diseño en la cubierta (techo plano).	141
Tabla 6.16 Parámetros R , a y n según la condición de exposición.	146
Tabla 6.17 Coeficientes C_e calculado a diferentes alturas.....	148

Tabla 6.18 Valores de V_h calculados para diferentes alturas de la edificación.	149
Tabla 6.19 Valores de x_0 calculados a distintas alturas.....	150
Tabla 6.20 Valores de relación de energía en ráfagas (F) calculados a diferentes alturas.	152
Tabla 6.21 Valores de v calculados a diferentes alturas.	153
Tabla 6.22 Resultados de g para distintas alturas.....	155
Tabla 6.23 Valores de la amplificación dinámica (G) a distintas alturas.....	156
Tabla 6.24 Valores de la presión de diseño de 1 a 23 metros de altura, sobre la pared a barlovento.....	156
Tabla 6.25 Valores de presión de diseño calculados de 1 a 23 metros de altura sobre las paredes laterales.	157
Tabla 7.1 Valores de V_h calculados para distintas alturas de la edificación.	161
Tabla 7.2 Factor de forma.	162
Tabla 7.3 Valores de P_h calculados a distintas alturas.	164
Tabla 7.4 Valores de P_h calculados en N/m^2	165
Tabla 7.5 Valores de P_h para la cubierta, tanto para barlovento como para sotavento.	165
Tabla 7.6 Valores de P_h para la cubierta, tanto para barlovento como para sotavento, en N/m^2	165
Tabla 7.7 Resultados de V_h para distintas alturas.	167
Tabla 7.8 Valores de las presiones para barlovento, sotavento.....	168
Tabla 7.9 Valores de presión de viento sobre la cubierta, a barlovento y sotavento.	169
Tabla 7.10 Resultados para V_h a distintas alturas de la torre en estudio.....	171
Tabla 7.11 Resultados de P_h para barlovento a distintas alturas.....	173
Tabla 7.12 Resultados de P_h para sotavento a distintas alturas.....	175
Tabla 7.13 Resultados de P_h para la cubierta a barlovento y sotavento.....	175
Tabla 8.1 Coeficiente de corrección, σ	177
Tabla 8.2 Velocidad corregida de viento.	178
Tabla 8.3 Factor de forma, C_f	179
Tabla 8.4 Coeficiente de entorno/altura.	180

Tabla 8.5 Valores de la presión del viento en barlovento.....	181
Tabla 8.6 Presión de viento sobre la cubierta, barlovento.....	181
Tabla 8.7 Presión de viento sobre la cubierta, sotavento.....	182
Tabla 8.8 Cálculo de la velocidad de viento corregida para la zona de ubicación del edificio.....	184
Tabla 8.9 Presión de viento en la pared vertical a barlovento.....	185
Tabla 8.10 Presión de viento sobre la cubierta, en área de barlovento.....	185
Tabla 8.11 Presión de viento sobre la cubierta, en área de sotavento.....	185
Tabla 8.12 Resultados de velocidad de viento corregida a diferentes niveles de altura.....	187
Tabla 8.13 Resultados de la presión de viento a diferentes alturas del edificio.....	188
Tabla 8.14 Resultados para las presiones de viento actuando en el área de barlovento de la cubierta.....	188
Tabla 8.15 Resultado para la presión de viento actuando en el área de sotavento de la cubierta.....	189

Tabla de Contenido: Gráficos

Gráfico 4.1 Velocidad máxima probable versus probabilidad de excedencia, para la ciudad de Quito.....	47
Gráfico 4.2 Velocidad máxima probable versus probabilidad de excedencia, para la ciudad de Guayaquil.....	50
Gráfico 9.1 Resultados de presión de viento sobre barlovento a distintas alturas del edificio.....	192
Gráfico 9.2 Resultados de presión de viento sobre barlovento a distintas alturas del edificio.....	194
Gráfico 9.3 Resultados de succión de viento sobre sotavento a distintas alturas del edificio.....	196
Gráfico 9.4 Resultados de succión de viento sobre sotavento a distintas alturas del edificio.....	197
Gráfico 9.5 Resultados de presión de viento sobre paredes laterales a distintas alturas del edificio.....	198
Gráfico 9.6 Resultados de presión de viento sobre paredes laterales a distintas alturas del edificio.....	199
Gráfico 9.7 Resultados de presión de viento sobre barlovento a distintas alturas del edificio.....	201
Gráfico 9.8 Resultados de presión de viento sobre barlovento a distintas alturas del edificio.....	203
Gráfico 9.9 Resultados de succión de viento sobre 1 pared lateral del segundo edificio de estudio.....	204

INTRODUCCIÓN

En el campo de la Ingeniería Civil, el diseño de edificios debe ser realizado tomando en cuenta los distintos tipos de carga que pueden hacerse presentes durante la vía útil de la estructura, una de ellas es el viento. Una estructura es considerada estable si puede resistir el viento (Zeller, 1984); es por esta razón que la presión a causa del viento debe ser considerada como factor influyente al instante de realizar un diseño estructural. En el medio ecuatoriano, el factor del viento no ha tenido una consideración importante dentro del diseño estructural, entre otras razones por estar ubicado en una zona netamente sísmica. Sin embargo, dentro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción se incluye un capítulo en el que se proporciona un método para el cálculo de la presión de viento. El método no provee de parámetros que puedan predecir el comportamiento del flujo de viento sobre una superficie, ni un mapa de vientos aplicable en el país del cual se pueda extraer información de la velocidad del viento en toda el área que abarca el territorio.

Además de realizar una comparación, se emplearán códigos aplicados a nivel internacional para la obtención de una idea más clara acerca del comportamiento del viento en estructuras que sobrepasan los 30 metros en el medio ecuatoriano.

CAPÍTULO 0

a. Metodología

Los procesos que intervienen en el desarrollo del presente trabajo se basaran principalmente en los que se describen en la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2014 (NEC-14) en comparación con la ASCE 7-10, las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Viento en México, la Norma Técnica de Edificación Peruana (NTE) E.020, y las Normas Sismo Resistente NSR-10 empleado en Colombia; los mismos que muestran procedimientos para el cálculo de la carga de viento que debe ser empleada para el diseño de estructuras. Para todos los casos, se requiere conocer la velocidad de viento del lugar al que se desee realizar los cálculos, y ante la falta de una mapa de isotacas para su aplicación en los códigos mencionados, es necesario recurrir a los datos históricos registrados por estaciones meteorológicas a nivel nacional, y obtener un valor representativo y válido de la velocidad de viento de las zonas.

Para el presente proyecto, se realizará el cálculo y análisis de resultados del mismo, para un edificio rígido de 12 pisos, y de una de las torres que conforma el proyecto hotelero SwissTowers en la ciudad de Guayaquil. Considerando que la geografía ecuatoriana muestra gran variabilidad, para el edificio de 12 pisos se tomará en cuenta el análisis en 2 zonas, la primera dentro de la región Costa y la segunda en la región Sierra; con ello se pretende obtener una visión más amplia en el alcance del análisis que se pretende realizar. Ante un futuro en el que los proyectos de gran altura poblarían las grandes metrópolis del país, se incluirá en

nuestro análisis el proyecto hotelero y de negocios SwissTowers ($h=190$ m cada torre), aplicando cada uno de los códigos mencionados empleados a nivel internacional, ante la falta de procedimientos y coeficientes que expliquen el comportamiento del viento a grandes alturas en el código ecuatoriano.

Bajo los resultados que se obtengan a partir de los cálculos, se evaluarán las variables que emplean cada uno de los códigos internacionales en sus procedimientos, de manera principal en la relevancia que tienen dadas las condiciones meteorológicas y geográficas de nuestro país.

1 CAPÍTULO I

1.1 Planteamiento del Problema

A través del tiempo, el conocimiento adquirido de los efectos del viento se ha convertido en una herramienta inseparable de la experiencia. En 1940, cuando el puente de Tacoma colapsó, otros puentes pasaron por la misma suerte; sin embargo, en el primer caso el fenómeno ocurrió durante la luz del día y pudo registrarse en videos el efecto “resonancia” por un largo tiempo, esto sirvió como punto de inicio en la investigación científica del fenómeno aeroelástico (Zeller, 1984).

Las fuerzas que se producen por acción del viento son fuerzas superficiales que generalmente se aplican en las fachadas de edificios. El área expuesta considerada es la suma de las proyecciones verticales de las áreas de todos los miembros. La velocidad de diseño para viento medida a 10 m de altura, será la adecuada a la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación, la misma que no será menor a 75 km/h, según la Sección 1.1.5 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014). Éste es un valor nominal que no representa el rango de velocidades de viento que se registran en el Ecuador, lo que supondría una sobrestimación de la carga de este tipo para el diseño de una edificación en el país, y que se tendría como consecuencia un uso innecesario de recursos económicos y de materiales para cumplir con la necesidad de soportar la carga de viento asumida. A esto se añade el hecho de que se cuenta únicamente con un método simplificado para el cálculo de la presión causada por la fuerza del

viento; parámetros como la topografía del lugar, el tipo de estructura y las características de la misma no son consideradas.

1.2 Objetivos del Trabajo

1.2.1 Objetivo General

Comparar los métodos existentes en las normas de construcción de Ecuador, Estados Unidos, México, Perú y Colombia; para el cálculo de las cargas de viento en distintas zonas del país.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Calcular la velocidad de viento necesaria para cada caso en el cálculo de la presión de viento.
- Estudiar la norma NEC-2011 en relación al cálculo de la carga de viento en las estructuras.
- Estudiar la norma ASCE7-10 en relación al cálculo de la carga de viento en las estructuras.
- Estudiar las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por carga de Viento en México en relación al cálculo de la carga de viento en las estructuras.
- Estudiar la NTE E.020 en Perú en relación al cálculo de la carga de viento en las estructuras.
- Estudiar la NSR-10 en Colombia en relación al cálculo de la carga de viento en las estructuras.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos con las normas internacionales utilizadas frente a la obtenida con la NEC.

1.3 Revisión Literaria

Toda construcción está destinada a soportar su propio peso y la presencia de acciones exteriores sin perder las condiciones de funcionabilidad para las que fue concebida. La presión ocasionada por el viento es proporcional al cuadrado de la velocidad y debe ser calculada principalmente en las superficies expuestas de una estructura. Por la rugosidad de la tierra la velocidad del viento es variable y presenta turbulencias. A pesar de esto se asume que la edificación toma una posición deformada debido a una velocidad constante y vibra a partir de esta posición debido a la turbulencia. (Cisneros, 2009).

Las construcciones se analizan suponiendo que el viento puede actuar por lo menos en dos direcciones horizontales perpendiculares e independientes entre sí. Los efectos del viento a considerarse son: empujes medios, empujes dinámicos en la dirección del viento, vibraciones transversales al flujo, inestabilidad aerodinámica. (Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa, 2011).

Los efectos más comunes del viento sobre construcciones son: deformación excesiva, pérdida de estabilidad, fatiga, rotura de elementos estructurales, rotura de elementos no estructurales, voladura de techos, vibraciones que afectan el confort de los ocupantes, efecto sobre peatones. (UNNE, s.f.).

Cuando las construcciones comienzan a elevarse sobre el terreno o cuando estas a pesar de ser bajas son muy livianas, a las acciones derivadas del peso propio y del uso, se suma la provocada por el viento. La forma más conveniente para este tipo de estructuras por tener coeficientes de forma más bajos son las cilíndricas o las que se

aproximan a ella, con lo cual se logra que la carga de viento sea $1/3$ menor que la producida sobre una forma prismática. (Delaloye, s.f.).

El peligro de los anuncios ante el viento huracanado se debe a que no están debidamente reglamentadas en muchas partes en nuestro país. La estructura es muy sencilla y cuenta de tres partes las cuales son: la mampara, el pedestal y la cimentación. Sin embargo la mampara consta de varios componentes y accesorios que hacen que esta estructura sea más compleja. Se debe establecer la presión (y la succión) del viento que actuará en dirección horizontal sobre la mampara. Con las fuerzas verticales y horizontales se procede al diseño de todos los componentes generalmente solo los componentes principales y de la cimentación. (Vargas, Baeza, & Perez, 2004).

Para simular ráfagas longitudinales de viento se emplearon dos técnicas, en función de la velocidad media y del espectro de densidad de potencia que proponen los códigos de diseño estructural. Las velocidades longitudinales se aplicaron a dos estructuras, se obtienen los factores de amplificación dinámicos (FAD). Existen evidencias de las graves consecuencias que pueden ocasionar los efectos dinámicos de viento en estructuras principalmente en las consideradas como flexibles; tales como torres, edificios altos, puentes colgantes, cubiertas soportadas por cables, tuberías, líneas de transmisión, etc. (Ceja & Hernandez , 2006).

Las cargas sísmicas y de viento son dos cargas laterales principales para las estructuras. La presencia de vientos de gran intensidad es de un impacto menos dramático pero esto depende del tipo de estructura. El código ASCE 7-05 se muestran tres métodos para determinar la carga del viento en el diseño de distintas

estructuras: Procedimiento simplificado, Procedimiento Analítico, Túnel de Viento (Beltrán, 2012).

Los métodos para realizar predicción de daños en construcciones sometidas a acciones externas (específicamente el viento) pueden ser cualitativos (niveles de daño) o cuantitativos (considera características propia de la estructura) (García, Saffar, & Godoy, 2008).

En el análisis de un galpón industrial de concreto armado, geometría y ambientes similares se determinó que los elementos más afectados por el ambiente agresivo de una salina son los canales y las columnas que los soportan. Los agentes principales responsables de la corrosión de concreto y armadura son los sulfatos y cloruros, arrastrados hasta el punto de acción por los vientos húmedos que soplan con fuerza desde los cristalizadores y el agua de lluvia (Fernández, Boufakredine, & Hidalgo, 1996).

Las estructuras lonarias y los tensegritis son un tipo especial de juntas pretensadas. El viento es una caso crítico en las estructuras lonarias ya que su poca masa y gran área producen fuertes presiones y subpresiones que se analizan como cargas estáticas modificadas por coeficientes de presión que deben ser considerados variables debido a la modificación de la geometría de la forma a causa del viento. (Espinosa, 2012).

1.4 Justificación del Trabajo

Como parte de los requisitos para la obtención del título de Ingeniero Civil se presenta el estudio de las diferentes normas usadas en varios países para determinar las cargas de viento sobre una estructura ubicada en diferentes

localidades. Nuestro interés en particular radica en las normas ecuatorianas en cuanto a la construcción en base a las cargas de viento tanto en la sierra como en la costa debido a las diferentes condiciones climáticas que se pueden encontrar en estas dos zonas del país.

El uso de estas normas es de vital importancia por que definen el 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 también conocido como 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 (Tapia, 2008).

Como uno de los objetivos se busca poder determinar el uso adecuado de la norma ecuatoriana de acuerdo a los siguientes: al factor suelo, el tipo de uso de la edificación, su ubicación sea esta en áreas frente al mar, zonas rurales, espacios abiertos sin obstáculos topográficos, edificaciones en zonas suburbanas con edificaciones de baja altura, y edificios en zonas urbanas con edificios de altura (Jaramillo, 2014).

Al realizar el análisis y la comparación de normas de construcción usadas en otros países, se podrá acceder a diferentes parámetros e información que han sido de mucha utilidad en esos países y que se pueden implementar en Ecuador para mejorar las construcciones, brindándoles una mayor resistencia frente a la carga del viento particularmente.

2 CAPÍTULO II

2.1 Marco teórico

Con el fin de tener una mejor comprensión del contenido del presente trabajo, es importante tomar en cuenta las siguientes definiciones mostradas a continuación.

Viento

Se define al viento como la variable de estado de movimiento del aire, esto es, el aire en movimiento de forma horizontal y vertical, estos últimos caracterizan los fenómenos atmosféricos locales, con formación de nubes de tormenta. El viento se produce por las diferencias de temperatura existentes al producirse un desigual calentamiento de las diversas zonas del planeta (El Viento, 2012).

Topografía

Se conoce a la topografía como una ciencia, que estudia las mediciones de la superficie terrestre y los diversos procedimientos para determinar las posiciones relativas de los puntos sobre la tierra y debajo de ella; combinando las tres mediciones posibles en el espacio: elevación, distancia y dirección (sei tetra).

Barlovento

De acuerdo al diccionario de la Real Academia Española, se define a barlovento como la parte de donde viene el viento con respecto a un punto o un lugar determinado (RAE). Tomando en cuenta esto, en términos para el cálculo de la carga de viento, barlovento es la sección de la edificación que se encuentra como obstáculo de forma perpendicular a la dirección de donde proviene el viento.

Sotavento

Al hablar de sotavento, nos referimos al término opuesto a Barlovento. Según el diccionario de la Real Academia Española (RAE), sotavento es la parte opuesta a aquella de donde viene el viento con respecto a un punto o lugar determinado (RAE). Esto quiere decir, se trata del área de la edificación que no recibe de forma directa la fuerza del viento.

Estructura rígida

Para efectos de cálculo, el concepto de estructura rígida, según el código de la ASCE7-10 define a una estructura rígida, a diferencia de las flexibles, por tener una frecuencia natural por encima de 1 Hz (ASCE, 2010).

Estructura cerrada

Según el código de la ASCE7-10, una edificación cerrada es aquella que no posee más allá del 80% de su área total como aberturas en sus paredes, además de no exceder en un 10% el área de abertura en barlovento al área restante de aberturas del edificio y el área de aberturas en esta pared debe no exceder del 1% (o 0.37 m²) del área total de esa pared y 20 % de aberturas en las áreas restantes (ASCE, 2010).

3 CAPÍTULO III

3.1 Características geométricas de primer edificio de estudio.

Un edificio, al ser sometido al cálculo de las cargas de viento con las distintas normas de construcción nacional e internacionales, es necesario tener conocimiento de las características geométricas y arquitectónicas del mismo. Como primera estructura a someter al análisis, se propone una con una altura de 31.92 metros (12 pisos), con aberturas de 1x1 metro para las ventanas y con una cubierta rectangular (24 x 18 metros) plana (Figura 3.1 y Figura 3.2), paralela a la horizontal.

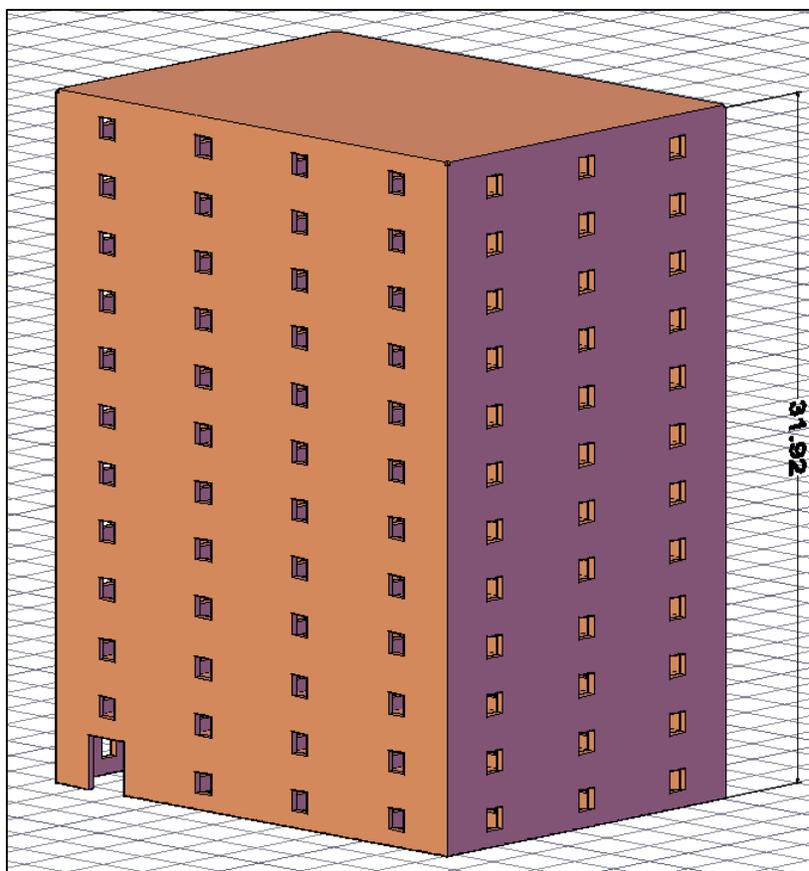


Figura 3.1 Vista tridimensional de primer edificio de estudio.

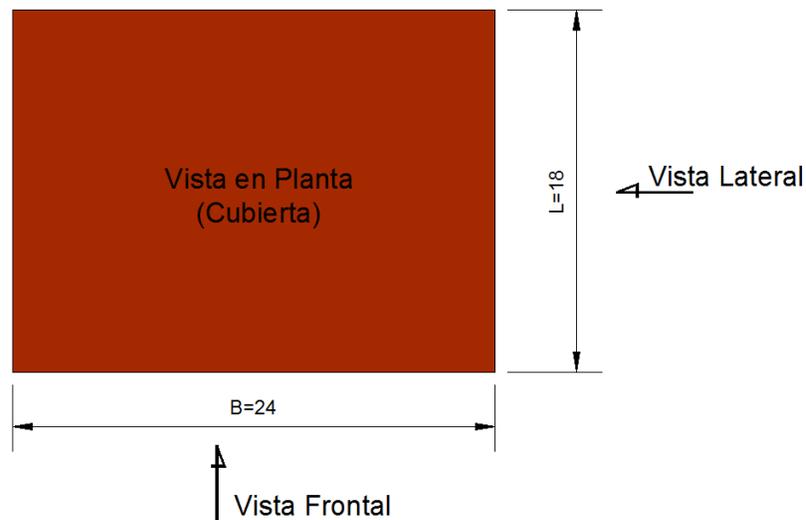


Figura 3.2 Vista en planta de primera edificación de estudio, dimensiones de su cubierta.

El área de la pared que va a recibir la fuerza del viento de forma perpendicular (barlovento) será aquella que contiene el ingreso principal o aquella que en la Figura 3.2 es señalada como vista frontal.

Para establecer si la estructura es abierta, parcialmente cerrada o cerrada, es preciso conocer el área de aberturas en la pared establecida como barlovento. Este parámetro es determinante para elegir el tipo de procedimiento a tomar en el cálculo de las cargas empleando la NSR-10 de Colombia como la ASCE7-10. En cada piso se contabilizan 14 m^2 de aberturas por las ventanas (14 ventanas de 1 m^2 por piso), 4 m^2 en barlovento, esto quiere decir que en esta última se totalizan 48 m^2 de aberturas (A_0) contenidas en 766.08 m^2 en esta zona (A_g); mientras que el resto de aberturas corresponde a 96 m^2 de superficie (A_{oi}) y 2347.20 m^2 de área de paredes del edificio sin incluir la de barlovento (A_{gi}).

Tomando como referencia la Sección B.6.2 de la Norma Sismo Resistente (NSR-10) de Colombia, para que la estructura sea cerrada se deben revisar las siguientes condiciones:

$$A_o < 0.8A_g \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$A_o < 1.10A_{oi} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$$A_o < 0.01A_g \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$A_o < 0.37 m^2 \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$A_{oi}/A_{gi} > 0.2 \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Entre las fórmulas 3 y 4 (Ecuación 3.3 y Ecuación 3.4) se elige la que posea el mayor de los valores de la derecha entre ambas desigualdades; entre la resultante de esta, la Ecuación 3.2 y la Ecuación 3.5, es imperativo que una de ellas se cumpla, según lo que se enuncia dentro de las condiciones para un edificio parcialmente cerrado en la NSR-10 de Colombia (NSR-10, 2010). Reemplazando los valores conocidos en las desigualdades se tiene que:

$$\text{Ecuación 3.1} \quad 48 < 0.8(766.08)$$

$$48 < 612.86 \quad \text{OK}$$

$$\text{Ecuación 3.2} \quad 48 < 1.10(96)$$

$$48 < 105.60 \quad \text{OK}$$

$$\text{Ecuación 3.3} \quad 48 < 0.01(766.08)$$

$$48 < 7.6608$$

$$\text{Ecuación 3.5} \quad 96/2347.20 > 0.2$$

$$0.0409 < 0.2$$

Por lo tanto, se clasifica esta edificación dentro de las cerradas.

Las condiciones geométricas de la estructura en estudio hacen que esta sea clasificada dentro de las del tipo **rígida**; siendo no esbelta y con una frecuencia fundamental mayor a 1 Hz (valores menores típicos en edificios de gran altura o $L \ll h$, siendo L la menor dimensión vista en planta y h la altura de la edificación).

Esta estructura será sometida a los distintos análisis planteados en normas internacionales y en la nacional, siendo adaptados en todos los casos a las condiciones de Quito (sector Cotocollao) y Guayaquil (parroquia Pedro Carbo) en el Ecuador.

3.2 Características geométricas del segundo edificio en estudio: Swiss-Tower.

Swiss-Towers es un proyecto que tiene como fin la construcción de 2 torres de gran altura (190 metros cada una) en el centro de la ciudad de Guayaquil, en la ribera del río Guayas (Figura 3.3). El proyecto se constituirá de un complejo hotelero cinco estrellas, de vivienda (departamentos) y oficinas.



Figura 3.3 Ubicación de proyecto hotelero SwissTowers en la ribera del río Guayas, Guayaquil, Ecuador. Foto tomada de swisstower.com.ec (Swiss Towers, 2014).

similares características, se realiza el análisis de 1 de ellas para obtener de manera simultánea resultados que pueden ser adaptados a la restante.

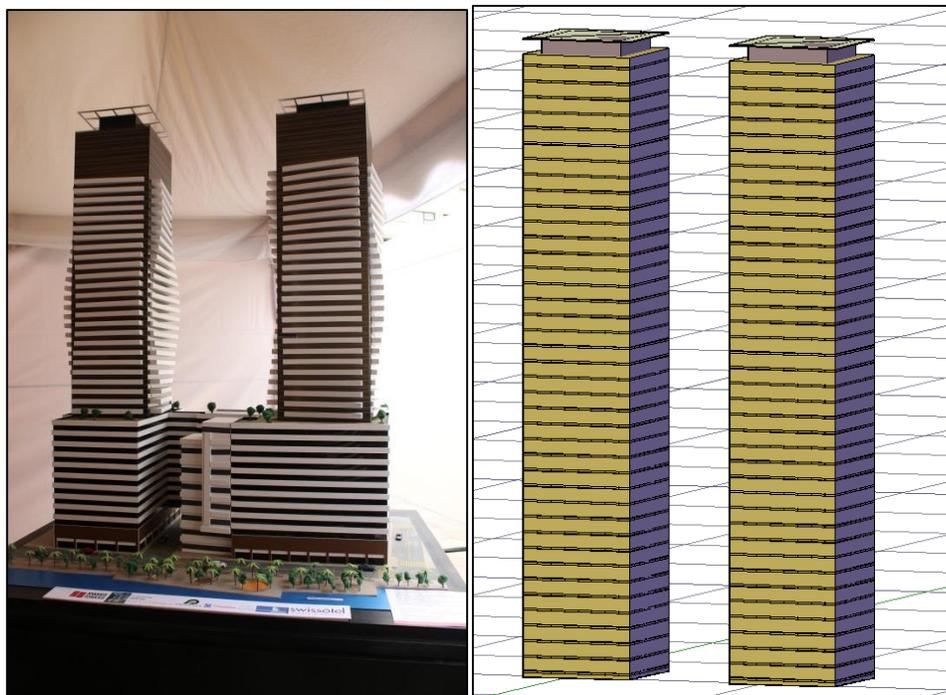


Figura 3.5 Complejo hotelero Swiss-Towers a la izquierda (Guayaquil es mi Destino, 2014); SwissTowers: elementos finales a considerar en los cálculos de presión de viento (derecha).

4 CAPÍTULO IV

Para el cálculo de la carga de viento, la velocidad del mismo representa el factor más importante e influyente. Para emplear los códigos que en el presente trabajo son utilizados, se consideran ciertos parámetros para la obtención de una velocidad del viento válida para llevar a cabo los cálculos que en cada uno de ellos se solicita. Debido a la falta de un mapa de vientos establecido en el código de la construcción en el Ecuador para el cálculo de la carga de viento en el país, es necesario obtener un valor característico y válido para ser aplicado en los códigos. En el presente estudio, se realiza el cálculo en dos zonas de nuestro país: Cotacollao, en la ciudad de Quito; y en la parroquia Pedro Carbo, en el centro de la ciudad de Guayaquil.

4.1 Metodología para Determinar la Velocidad de Viento

Recientemente, se desarrollaron mapas de vientos para el Ecuador, según se detalla en “Diseño por Viento para Pórticos, Galpones y Estructuras Tridimensionales” (Hurtado, 2009). En el mismo se muestran los mapas de Isotacas para periodos de retorno de 10, 50 y 200 años empleando datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) obtenidos en las distintas estaciones ubicadas en el país en un periodo de 10 años (1998-2008). A pesar de los resultados que allí se muestran, no es menos cierto que la cantidades de datos tomados no representa un universo suficientemente amplio, pudiendo no reflejar las condiciones que pueden arrojar resultados que sean producto de mayor cantidad de datos, y actualizados.

Para procesar los datos, Hurtado emplea el método estadístico de la distribución binomial o de Pearson III. Este método fue concebido originalmente, en un esfuerzo

por modelar datos visiblemente sesgados (distribuciones cuyas colas típicamente se extienden a uno de los costados), su distribución no es simétrica (López, Terrazas, & Velázquez, 2010). El interés principal en este tipo de distribución está enfocado en los valores límites (mínimos y máximos), como por ejemplo en la climatología, en donde es indispensable conocer el comportamiento del viento con su velocidad en eventos extremos (Hurtado, 2009). El mismo nos proporciona una distribución de datos máximo (de velocidad de viento en nuestro caso) del cual extraemos un valor de velocidad máxima con un porcentaje de probabilidad de excedencia.

El procedimiento es basado en el desarrollado por Hurtado (2009). Los datos (D) son tabulados, y ordenados en forma decreciente (de mayor a menor). Se calcula el promedio de ellos y el valor de K_i para cada uno (Ecuación 4.1), con la sumatoria de todos ellos.

$$K_i = \frac{V_{max}}{\bar{X}} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Este último es posteriormente restado una unidad, para luego elevarlo al cuadrado y al cubo, se obtienen luego la sumatoria de estos dos últimos (ver Tabla 4.1).

N	V_{max}	K_i	K_{i-1}	(K_{i-1})²	(K_{i-1})³
1	a ₁	K _{i1}	K _{i1-1}	(K _{i1-1}) ²	(K _{i1-1}) ³
2	a ₂	K _{i2}	K _{i2-1}	(K _{i2-1}) ²	(K _{i2-1}) ³
3	a ₃	K _{i3}	K _{i3-1}	(K _{i3-1}) ²	(K _{i3-1}) ³
4	a ₄	K _{i4}	K _{i4-1}	(K _{i4-1}) ²	(K _{i4-1}) ³
	<i>Promedio (\bar{X})</i>	Σ		Σ	Σ

TABLA 4.1. DESARROLLO DE DISTRIBUCIÓN DE PEARSON III.

Con estos datos se procede con el cálculo de Cv y Cs con las siguientes ecuaciones:

$$Cv = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n-1)Cv^3} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Se verifica que el valor de Cs sea mayor o igual a 2Cv, de esta manera se comprueba la aplicabilidad de este método (Hurtado, 2009). De lo contrario, se emplea de manera automática el valor de 2Cv en reemplazo de Cs. Este último es utilizado para emplear la Tabla 2, para de esta forma obtener los valores de ϕ (ordenada de la curva teórica).

Cs	0.01	0.1	1	2	5	10	25	50	75	80	90	95	99	99.9
0.0	3.72	3.09	2.33	2.06	1.64	1.28	0.67	0.00	-0.67	-0.84	-1.28	-1.64	-2.33	-3.09
0.1	3.94	3.23	2.40	2.11	1.67	1.20	0.66	-0.02	-0.68	-0.85	-1.27	-1.61	-2.25	-2.95
0.2	4.16	3.38	2.47	2.16	1.70	1.30	0.65	-0.03	-0.69	-0.85	-1.26	-1.58	-2.18	-2.81
0.3	4.38	3.52	2.54	2.21	1.72	1.31	0.64	-0.05	-0.70	-0.85	-1.24	-1.55	-2.10	-2.67
0.4	4.61	3.66	2.61	2.26	1.75	1.32	0.63	-0.07	-0.71	-0.85	-1.23	-1.52	-2.03	-2.54
0.5	4.83	3.81	2.62	2.31	1.77	1.33	0.62	-0.08	-0.71	-0.85	-1.22	-1.49	-1.96	-2.40
0.6	5.05	3.96	2.75	2.35	1.80	1.33	0.61	-0.10	-0.72	-0.85	-1.20	-1.45	-1.88	-2.27
0.7	5.28	4.10	2.82	2.40	1.82	1.33	0.59	-0.12	-0.72	-0.85	-1.18	-1.42	-1.81	-2.14
0.8	5.5	4.24	2.89	2.45	1.84	1.34	0.58	-0.13	-0.73	-0.85	-1.17	-1.38	-1.74	-2.02
0.9	5.73	4.38	2.96	2.50	1.86	1.34	0.57	-0.15	-0.73	-0.85	-1.15	-1.35	-1.66	-1.90
1.0	5.96	4.53	3.02	2.54	1.88	1.34	0.55	-0.16	-0.73	-0.85	-1.13	-1.32	-1.59	-1.79
1.1	6.18	4.67	3.09	2.58	1.89	1.34	0.54	-0.18	-0.74	-0.84	-1.10	-1.28	-1.52	-1.68
1.2	6.41	4.81	3.15	2.62	1.91	1.34	0.52	-0.19	-0.74	-0.84	-1.08	-1.24	-1.45	-1.58
1.3	6.64	4.95	3.21	2.61	1.92	1.34	0.51	-0.21	-0.74	-0.84	-1.06	-1.20	-1.38	-1.48
1.4	6.87	5.09	3.27	2.71	1.94	1.34	0.49	-0.22	-0.73	-0.83	-1.04	-1.17	-1.31	-1.39
1.5	7.09	5.28	3.33	2.74	1.95	1.33	0.47	-0.24	-0.73	-0.82	-1.02	-1.13	-1.26	-1.31
1.6	7.31	5.37	3.39	2.78	1.96	1.33	0.46	-0.25	-0.73	-0.81	-0.99	-1.10	-1.20	-1.24
1.7	7.54	5.50	3.44	2.82	1.97	1.32	0.44	-0.27	-0.72	-0.81	-0.97	-1.06	-1.14	-1.17
1.8	7.76	5.64	3.50	2.85	1.98	1.32	0.42	-0.28	-0.72	-0.80	-0.94	-1.02	-1.09	-1.11
1.9	7.98	5.77	3.55	2.88	1.99	1.31	0.40	-0.29	-0.72	-0.79	-0.92	-0.98	-1.04	-1.05
2.0	8.21	5.91	3.60	2.91	2.00	1.30	0.39	-0.31	-0.71	-0.78	-0.90	-0.95	-0.99	-1.00
2.1		6.06	3.65	2.94	2.00	1.29	0.37	-0.32	-0.70	-0.77	-0.87	-0.92	-0.95	-0.95
2.2		6.20	3.70	2.97	2.01	1.28	0.35	-0.33	-0.69	-0.75	-0.85	-0.89	-0.90	-0.91
2.3		6.34	3.75	3.00	2.01	1.27	0.33	-0.34	-0.68	-0.74	-0.82	-0.85	-0.87	-0.87
2.4		6.47	3.79	3.03	2.01	1.25	0.32	-0.35	-0.67	-0.72	-0.79	-0.82	-0.83	-0.83
2.5		6.60	3.83	3.06	2.01	1.24	0.30	-0.36	-0.66	-0.70	-0.77	-0.79	-0.80	-0.80
2.6		6.73	3.87	3.09	2.01	1.23	0.28	-0.37	-0.65	-0.68	-0.74	-0.76	-0.77	-0.78
2.7		6.86	3.91	3.12	2.01	1.21	0.26	-0.38	-0.64	-0.67	-0.72	-0.74	-0.74	-0.74
2.8		6.99	3.95	3.15	2.02	1.20	0.24	-0.38	-0.62	-0.63	-0.70	-0.71	-0.71	-0.71
2.9		7.12	3.99	3.18	2.02	1.19	0.22	-0.39	-0.61	-0.64	-0.67	-0.69	-0.69	-0.69
3.0		7.25	4.02	3.20	2.02	1.18	0.20	-0.40	-0.60	-0.62	-0.65	-0.66	-0.66	-0.67

Tabla 4.2 Probabilidades en porcentaje (%) versus el coeficiente de asimetría (Cs), para obtener el coeficiente ϕ . Tomado de Hurtado (2009)

A continuación se emplea la Ecuación 4.4, para hallar los valores probables de velocidad máxima con cierto porcentaje de probabilidad de que no ocurra un evento más grande en un cierto periodo de retorno.

$$X_p\% = \bar{X}(1 + \phi C_v) \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Para obtener el periodo de retorno basta con obtener el inverso de la probabilidad; las unidades de este valor dependerá de los datos que se empleen en el estudio (anuales, mensuales, diarios, etc). El resultado final en la aplicación de estos parámetros es una curva (ver figura 4.1) en la que se obtienen valores de velocidad máxima probable (m/s) en la ordenada y en la abcisa la probabilidad de excedencia (%).

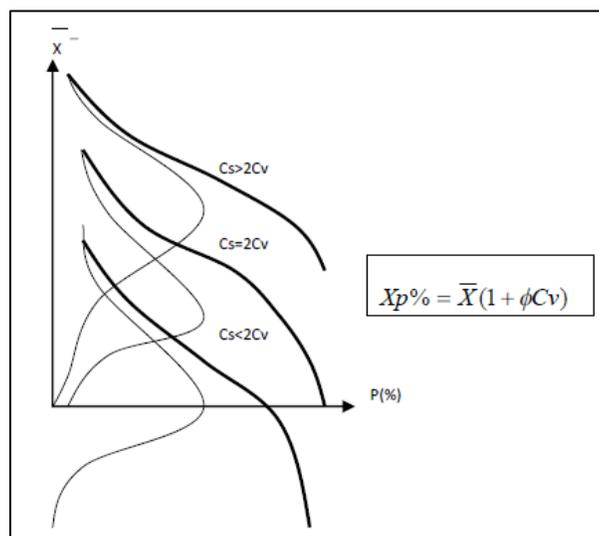


Figura 4.1 Curva binomial, tomado de tesis de Hurtado (2009)

4.2 Recopilación de datos

4.2.1 Quito: sector Cotacollao

Para obtener los registros de las mediciones de la velocidad del viento para la ciudad de Quito, se accedió a la página de la Secretaria de Ambiente, en donde se recurrió

a los datos de la red de monitoreo para obtener los reportes de la velocidad del viento (Secretaria de Ambiente, 2014). Estos reportes son generados para distintos sectores dentro de la ciudad, con la opción de tener datos horarios, semi-horarios, cada diez minutos, entre otros. De acuerdo a lo solicitado en los códigos empleados es recomendable tener datos de la velocidad del viento en un período de diez minutos. Por esta razón se generaron estos reportes cada 10 minutos para el sector de Cotocollao, sector donde se encuentra el primer edificio de estudio (ver Anexo 1). Estos datos están disponibles desde el año 2007 hasta el presente año.

Se procede a obtener el valor máximo medido para la velocidad del viento de cada año a partir del universo de datos de los reportes generados para dichos años. A continuación, se presenta la Tabla 4.3 con dichos valores y su respectivo año:

Año	No.	Vel. Max observada [m/s]
2007	1	15.51
2008	2	8.2
2009	3	8.56
2010	4	8.29
2011	5	8.24
2012	6	9.09
2013	7	8.58
2014	8	8.59

Tabla 4.3 Registro de velocidades máximas anuales en el sector de Cotocollao. Fuente: Secretaria de Ambiente.

4.2.2 Guayaquil: estación meteorológica U. Estatal.

Los datos son tomados a partir de la información proporcionada a través del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en sus anuarios publicados año a año en su página web. Debido a la ubicación de las edificaciones de estudio

(parroquia Pedro Carbo, centro de Guayaquil), se escoge a la Universidad Estatal como estación para la recopilación de los datos (ver figura 4.2).

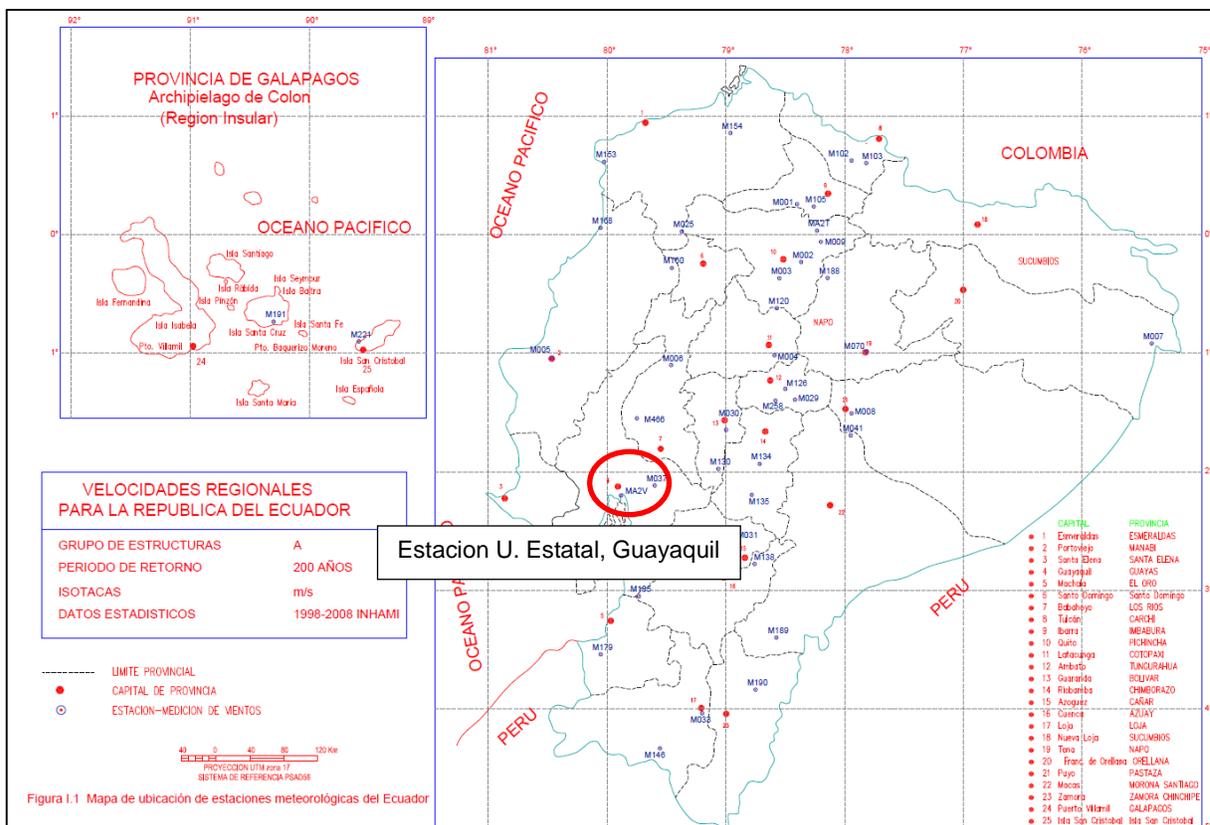


Figura 4.2 Ubicación de estaciones meteorológicas a nivel nacional. Tomado de Hurtado (2009)

Los datos son tomados por medio de veletas (aspa de wild), a través de observación directa; en el cual se registra la velocidad del flujo de aire que actúa sobre una placa liviana suspendida sobre un eje horizontal y la inclinación con la vertical es la que determina la velocidad en unidades de m/s (INAMHI, 2015). La altura a la cual están ubicados estos aparatos de medición sobre el suelo es de 10 metros. Las mediciones se toman en las ocho direcciones (N, NE, E, SE, S, SW, W y NW) de los cuales se obtienen datos medios mensuales de velocidad a través de 3 observaciones diarias (INAMHI, 2015). Para cada mes se muestra un valor máximo de velocidad del viento observada.

El INAMHI dispone datos de esta estación (U. Estatal) desde el año 1992 hasta el 2012, todos son considerados en el presente proyecto (ver Anexo 2). Los cuales son tabulados por año, considerando únicamente los valores máximos registrados en cada uno de ellos, los mismos que será empleados para la aplicación de la distribución de Pearson III (ver tabla 4.4).

Año	No.	Vel. Max observada (m/s)
1992	1	5
1993	2	5
1994	3	5
1995	4	5
1996	5	8
1997	6	9
1998	7	12
1999	8	8
2000	9	6
2001	10	6
2002	11	7
2003	12	5
2004	13	5
2005	14	5
2006	15	6
2007	16	5
2008	17	5
2009	18	6
2010	19	4
2011	20	8
2012	21	8

Tabla 4.4 Registro de velocidades máximas anuales en la estación U. Estatal. Fuente: INAMHI.

4.3 Cálculo y Determinación de la velocidad del viento

4.3.1 Quito

Siguiendo el procedimiento de la Sección 4.1, los datos son tabulados y ordenados de acuerdo a lo que se solicita en la Tabla 4.1 con ayuda de la Ecuación 4.1.

Año	No.	Vel. Max observada (m/s)	Vel. Decreciente (m/s)	Ki	Ki-1	(Ki-1) ²	(Ki-1) ³	
2007	1	15.51	15.51	1.653	0.653	0.427	0.279	
2008	2	8.2	9.09	0.874	-0.126	0.016	-0.002	
2009	3	8.56	8.59	0.912	-0.088	0.008	-0.001	
2010	4	8.29	8.58	0.884	-0.116	0.014	-0.002	
2011	5	8.24	8.56	0.878	-0.122	0.015	-0.002	
2012	6	9.09	8.29	0.969	-0.031	0.001	0.000	
2013	7	8.58	8.24	0.914	-0.086	0.007	-0.001	
2014	8	8.59	8.2	0.916	-0.084	0.007	-0.001	
			Σ=75.06				Σ=0.494	Σ=0.271
Prom:			9.3825					

Tabla 4.5 Datos de velocidad máxima anual del viento para Quito entre 2007 y 2014; resultados de parámetros para desarrollo de la distribución de Pearson.

A continuación, con las ecuaciones 4.2 y 4.3, se calculan los valores de C_s y C_v con ayuda de los resultados obtenidos y mostrados en la tabla 4.4.

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0.494}{8 - 1}} = 0.266$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n - 1)C_v^3} = \frac{0.271}{(8 - 1)0.266^3} = 2.067$$

Para verificar qué valor de C_s es el indicado para emplear en los siguientes pasos, se verifica que la relación entre éste y C_v sea menor a 2.

$$\frac{C_s}{C_v} = \frac{2.067}{0.266} = 7.783$$

Debido a que esta relación resulta mayor a 2, se procede a tomar el valor de C_s , el mismo que tiene el valor de 2.067. Con el mismo se acude a la Tabla 4.2, y se determina el valor de ϕ para cada una de las probabilidades de excedencia allí mostradas, esto es con el objetivo de tener varios datos que permitan construir la curva binomial. Posteriormente, con la Ecuación 4.4, se calcula el valor de la

velocidad máxima probable correspondiente a cada probabilidad de excedencia. A partir de la probabilidad de excedencia (%) se calcula el período de retorno aplicando el valor inverso de la primera (en decimales). A continuación se presentan los resultados de los cálculos descritos anteriormente con el gráfico correspondiente (P(%) vs V_p).

Período de retorno	P (%)	ϕ	V_p (m/s)
10000	0.01	8.210	29.843
1000	0.1	6.011	24.364
100	1	3.634	18.439
50	2	2.930	16.685
20	5	2.000	14.367
10	10	1.293	12.606
4	25	0.377	10.321
2	50	-0.317	8.593
1.333333333	75	-0.707	7.621
1.25	80	-0.773	7.455
1.111111111	90	-0.880	7.190
1.05263158	95	-0.930	7.065
1.01010101	99	-0.963	6.982
1.001001	99.9	-0.966	6.974

Tabla 4.6 Período de retorno, probabilidad de excedencia, constante ϕ y velocidad máxima probable.

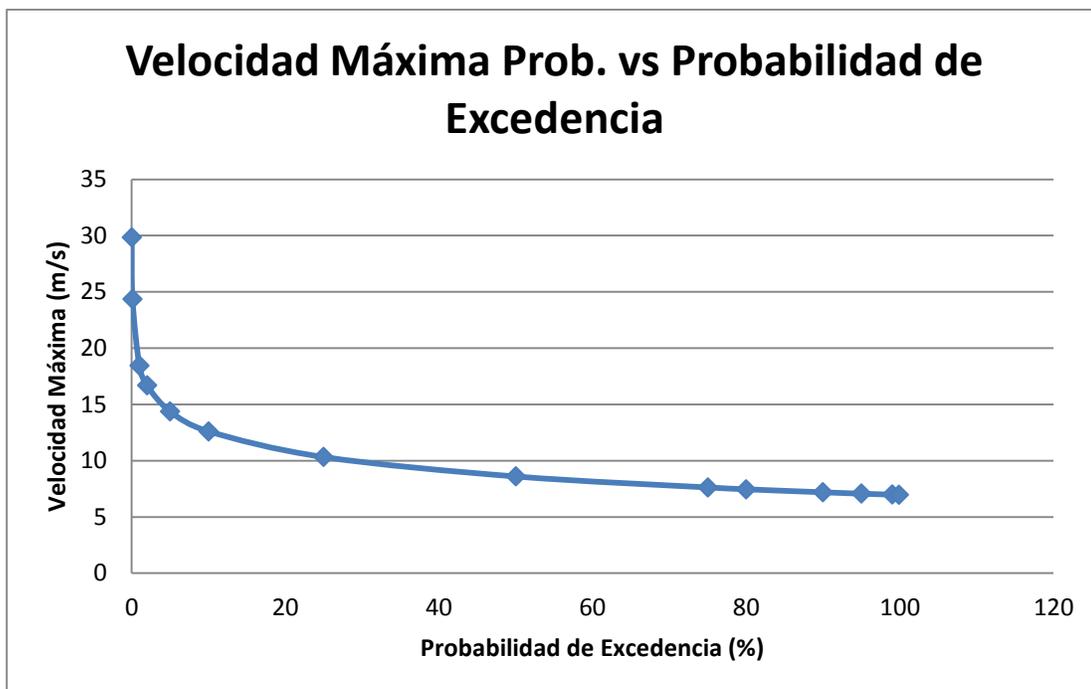


Gráfico 4.1 Velocidad máxima probable versus probabilidad de excedencia, para la ciudad de Quito.

De acuerdo a lo que se presenta en los códigos que se aplican en el presente estudio, los valores de velocidad máxima varían de acuerdo a la norma. Para la norma mexicana (para edificaciones del tipo B), peruana y ecuatoriana se utilizan mapas de viento con un período de retorno de 50 años correspondiente a una probabilidad de excedencia del 2%. Por otro lado, en el código ASCE7-10 se utilizan mapas de viento con valores de probabilidad de excedencia de 0.333% y 0.143% (para edificaciones de Categoría I y II respectivamente) Los tipo de edificación anteriormente mencionados, son los grupos en los que ingresan los edificios de estudio en el proyecto, en la Tabla 1.6 se muestran los valores de velocidad máxima correspondiente a dichas probabilidades de excedencia y periodo de retorno.

Período de retorno [años]	P (%)	Velocidad max. Probabilística [m/s]
700	0.143	24.081
300	0.33	22.830
50	2	16.685
Velocidad máx observada		15.510

Tabla 4.7 Valores típicos de velocidad de viento máxima a emplear en el presente trabajo.

4.3.2 Guayaquil

Siguiendo el procedimiento de la Sección 4.1, los datos son tabulados y ordenados de acuerdo a lo que se solicita en la Tabla 4.1 con ayuda de la Ecuación 4.1.

Año	No.	Vel. Max observada (m/s)	Vel. Decreciente (m/s)	Ki	Ki-1	(Ki-1) ²	(Ki-1) ³
1992	1	5	12	1.375	0.375	0.141	0.053
1993	2	5	9	1.031	0.031	0.001	0.000
1994	3	5	8	0.917	-0.083	0.007	-0.001
1995	4	5	8	0.917	-0.083	0.007	-0.001
1996	5	8	8	0.917	-0.083	0.007	-0.001
1997	6	9	8	0.917	-0.083	0.007	-0.001
1998	7	12	7	0.802	-0.198	0.039	-0.008
1999	8	8	6	0.688	-0.313	0.098	-0.031
2000	9	6	6	0.688	-0.313	0.098	-0.031
2001	10	6	6	0.688	-0.313	0.098	-0.031
2002	11	7	6	0.688	-0.313	0.098	-0.031
2003	12	5	5	0.573	-0.427	0.182	-0.078
2004	13	5	5	0.802	-0.198	0.039	-0.008
2005	14	5	5	0.688	-0.313	0.098	-0.031
2006	15	6	5	0.688	-0.313	0.098	-0.031
2007	16	5	5	0.573	-0.427	0.182	-0.078
2008	17	5	5	0.573	-0.427	0.182	-0.078
2009	18	6	5	0.573	-0.427	0.182	-0.078
2010	19	4	5	0.573	-0.427	0.182	-0.078
2011	20	8	5	0.573	-0.427	0.182	-0.078
2012	21	8	4	0.458	-0.542	0.293	-0.159
			$\Sigma = 96$			$\Sigma = 1.720$	$\Sigma = -0.726$
Prom:			8.727272727				

Tabla 4.8 Datos de velocidad máxima anual del viento para Guayaquil entre 1992 y 2012; resultados de parámetros para desarrollo de la distribución de Pearson.

A continuación, con las ecuaciones 4.2 y 4.3, se calculan los valores de C_s y C_v con ayuda de los resultados obtenidos y mostrados en la tabla 4.4.

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{1.720}{21 - 1}} = 0.293$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n - 1)C_v^3} = \frac{-0.726}{(21 - 1)0.293^3} = -1.439$$

Para verificar qué valor de C_s es el indicado para emplear en los siguientes pasos, se verifica que la relación entre éste y C_v sea menor a 2.

$$\frac{C_s}{C_v} = \frac{-1.439}{0.293} = -4.906$$

Aunque el valor obtenido anteriormente resulta ser menor a 2, dicho valor de C_s no se encuentra tabulado en la tabla 1.2, por lo que se toma el valor de $2C_v$, el mismo que tiene el valor de 0.587. Con el mismo se acude a la tabla 4.2, y se determina el valor de ϕ para cada una de las probabilidades de excedencia allí mostradas. Posteriormente, con la ecuación 4.4, se calcula el valor de la velocidad máxima probable correspondiente a cada probabilidad de excedencia y su período de retorno como ya se mencionó. A continuación se presentan los resultados de los cálculos descritos anteriormente con el gráfico correspondiente ($P(\%)$ vs V_p).

Periodo de retorno	P (%)	ϕ	Vp (m/s)
10000	0.01	5.020	21.576
1000	0.1	3.940	18.810
100	1	2.732	15.720
50	2	2.345	14.728
20	5	1.796	13.324
10	10	1.330	12.131
4	25	0.611	10.292
2	50	-0.097	8.478
1.33333333	75	-0.719	6.888
1.25	80	-0.850	6.552
1.11111111	90	-1.203	5.649
1.05263158	95	-1.455	5.002
1.01010101	99	-1.891	3.888
1.001001	99.9	-2.288	2.873

Tabla 4.9 Periodo de retorno, probabilidad de excedencia, constante ϕ y velocidad máxima probable.

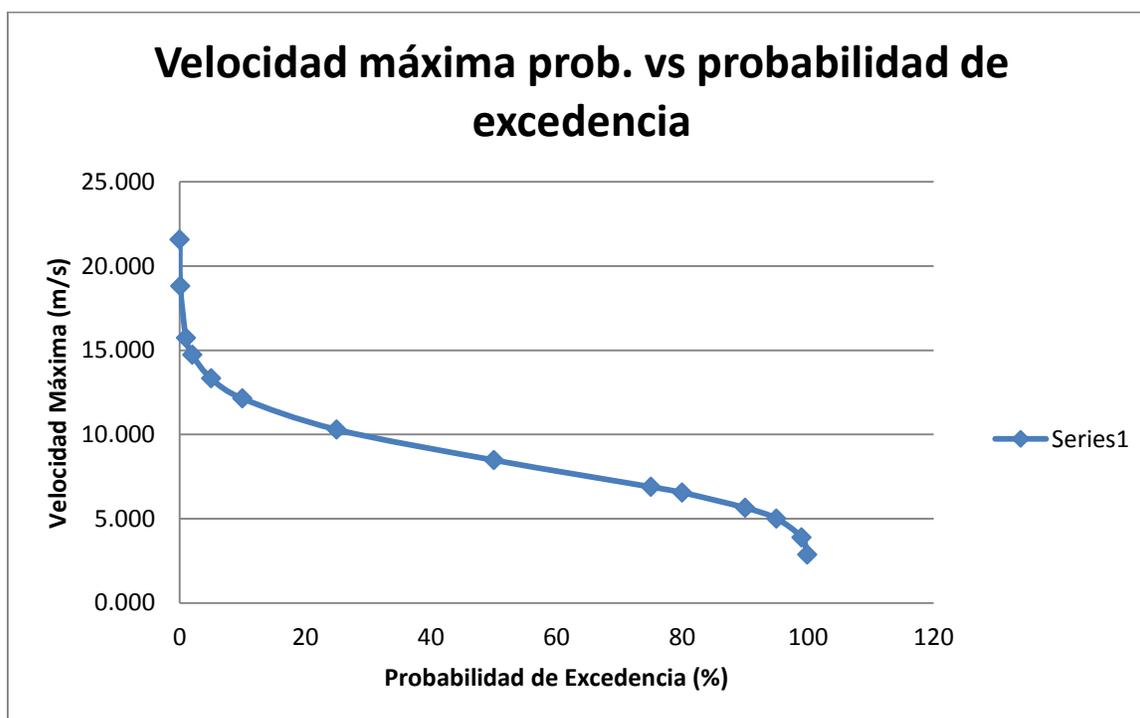


Gráfico 4.2 Velocidad máxima probable versus probabilidad de excedencia, para la ciudad de Guayaquil.

Como ya se mencionó, los valores de la velocidad máxima varían de acuerdo a la norma, donde se especifica que se debe usar una velocidad a cierto período de

retorno o probabilidad de excedencia. Tomando en cuenta lo antes especificado se obtiene para la ciudad de Guayaquil lo siguiente:

Tiempo de retorno (años)	P (%)	Velocidad max. Probabilística (m/s)
700	0.143	18.663
300	0.333	18.009
50	2.000	14.728
	Vel. Máx observada	12

Tabla 4.10 Valores típicos de velocidad de viento máxima a emplear en el presente trabajo.

5 CAPÍTULO V

En el presente capítulo se desarrollarán los cálculos para encontrar la presión de viento en los edificios de estudio, utilizando las normas de Colombia (NSR-10) y Americana (ASCE7-10). Esto debido a la similitud en los procesos necesarios desarrollar en ambas normativas, las mismas que se describen a continuación.

5.1 Aplicación del método analítico de la norma ASCE7-10 para el cálculo de la presión de viento.

5.1.1 Primer edificio de estudio: Quito, Ecuador.

5.1.1.1 Determinación de la categoría de riesgo de la edificación u otra estructura.

De acuerdo a lo que se solicita en este primer punto, se recurre a la tabla 1.5-1 (Tabla 5.1) de la norma ASCE7-10 (ASCE, 2010).

Use or Occupancy of Buildings and Structures	Risk Category
Buildings and other structures that represent a low risk to human life in the event of failure	I
All buildings and other structures except those listed in Risk Categories I, III, and IV	II
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial risk to human life.	III
Buildings and other structures, not included in Risk Category IV, with potential to cause a substantial economic impact and/or mass disruption of day-to-day civilian life in the event of failure.	
Buildings and other structures not included in Risk Category IV (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing toxic or explosive substances where their quantity exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction and is sufficient to pose a threat to the public if released.	
Buildings and other structures designated as essential facilities.	IV
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial hazard to the community.	
Buildings and other structures (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, or hazardous waste) containing sufficient quantities of highly toxic substances where the quantity exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction to be dangerous to the public if released and is sufficient to pose a threat to the public if released. ^a	
Buildings and other structures required to maintain the functionality of other Risk Category IV structures.	

^aBuildings and other structures containing toxic, highly toxic, or explosive substances shall be eligible for classification to a lower Risk Category if it can be demonstrated to the satisfaction of the authority having jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.2 that a release of the substances is commensurate with the risk associated with that Risk Category.

Tabla 5.1 Categorización de riesgo para estructuras y edificaciones (ASCE, 2010).

Con la tabla anteriormente mostrada, y con las características de la edificación empleada, se determina que la misma se encuentra en la *Categoría I*.

5.1.1.2 Determinación de la velocidad V , de acuerdo a la categoría de riesgo.

Dentro de la Sección 26.5.1 del código ASCE7-10 se desarrolla un proceso en el que se emplean mapas de viento de los Estados Unidos; en 50 años, y probabilidades de excedencia de 15%, 7% y 3% para edificios en categoría de riesgo I, II y III/IV respectivamente (ASCE, 2010).

De acuerdo a lo calculado en el capítulo III, y tomando en cuenta que la estructura en estudio se encuentra en la categoría I, para la ciudad de Quito (sector Cotocollao) se establece un valor de velocidad de viento con una probabilidad de excedencia de 15% a la que corresponde un periodo de retorno de 300 años, de **22.830 m/s**.

5.1.1.3 Determinación de parámetros en la carga de viento.

- *Factor de direccionalidad del viento K_d .*

Para ello, se emplea la Tabla 5.2 en la que se muestra los valores de los factores de direccionalidad del viento.

Structure Type	Directionality Factor K_d^*
Buildings Main Wind Force Resisting System Components and Cladding	0.85 0.85
Arched Roofs	0.85
Chimneys, Tanks, and Similar Structures Square Hexagonal Round	0.90 0.95 0.95
Solid Freestanding Walls and Solid Freestanding and Attached Signs	0.85
Open Signs and Lattice Framework	0.85
Trussed Towers Triangular, square, rectangular All other cross sections	0.85 0.95

*Directionality Factor K_d has been calibrated with combinations of loads specified in Chapter 2. This factor shall only be applied when used in conjunction with load combinations specified in Sections 2.3 and 2.4.

Tabla 5.2 Factor de direccionalidad del viento (ASCE, 2010).

Al tratarse de un edificio en este caso, el valor del factor de direccionalidad es **0.85**.

- *Categorización de acuerdo a la exposición.*

En la Sección 26.7 del código ASCE7 se muestran las distintas categorías de exposición en las edificaciones, las mismas que van desde la categoría B, pasando por la C, hasta la D. Para efectos de cálculo, la categoría que se aplica en este caso es **B**.

- *Factor topográfico, K_{zt} .*

De acuerdo a lo expuesto en la Sección 26.8.2 de la norma ASCE, se establece un valor para este factor igual a **$K_{zt}=1$** .

- *Factor de efecto de ráfaga, G .*

En la Sección 26.9.1 del código ASCE7 se indica que el valor para este factor en estructuras rígidas u otros, es igual a **0.85**.

- *Coeficiente de presión interna, GC_{pi} .*

En la Sección 26.11 de la ASCE7, se muestra la Tabla 5.3 Coeficientes de Presión Interna (GC_{pi}), para edificaciones cerradas, parcialmente cerradas o abiertas, la misma que contiene los valores de GC_{pi} de las estructuras de acuerdo a su clasificación de “cercamiento”.

Enclosure Classification	(GC_{pi})
Open Buildings	0.00
Partially Enclosed Buildings	+0.55 -0.55
Enclosed Buildings	+0.18 -0.18

Notes:

1. Plus and minus signs signify pressures acting toward and away from the internal surfaces, respectively.
2. Values of (GC_{pi}) shall be used with q_z or q_h as specified.
3. Two cases shall be considered to determine the critical load requirements for the appropriate condition:
 - (i) a positive value of (GC_{pi}) applied to all internal surfaces
 - (ii) a negative value of (GC_{pi}) applied to all internal surfaces

Tabla 5.3 Coeficientes de Presión Interna (GC_{pi}), para edificaciones cerradas, parcialmente cerradas o abiertas (ASCE, 2010).

Para el ejemplo, al tratarse de una edificación cerrada, se toman los valores GC_{pi} de **+0.18 y -0.18**.

5.1.1.4 Determinación del coeficiente de exposición a la presión de velocidad, K_z o K_h .

Los coeficientes de exposición a la presión de velocidad K_z se muestran en la Tabla 5.4, la misma que fue extraída de la Sección 27.3 del código ASCE7. En dicha tabla, se presentan los valores K_z de acuerdo a la clasificación de exposición de la estructura.

Height above ground level, z		Exposure		
		B	C	D
ft	(m)			
0-15	(0-4.6)	0.57	0.85	1.03
20	(6.1)	0.62	0.90	1.08
25	(7.6)	0.66	0.94	1.12
30	(9.1)	0.70	0.98	1.16
40	(12.2)	0.76	1.04	1.22
50	(15.2)	0.81	1.09	1.27
60	(18)	0.85	1.13	1.31
70	(21.3)	0.89	1.17	1.34
80	(24.4)	0.93	1.21	1.38
90	(27.4)	0.96	1.24	1.40
100	(30.5)	0.99	1.26	1.43
120	(36.6)	1.04	1.31	1.48
140	(42.7)	1.09	1.36	1.52
160	(48.8)	1.13	1.39	1.55
180	(54.9)	1.17	1.43	1.58
200	(61.0)	1.20	1.46	1.61
250	(76.2)	1.28	1.53	1.68
300	(91.4)	1.35	1.59	1.73
350	(106.7)	1.41	1.64	1.78
400	(121.9)	1.47	1.69	1.82
450	(137.2)	1.52	1.73	1.86
500	(152.4)	1.56	1.77	1.89

Notes:

- The velocity pressure exposure coefficient K_z may be determined from the following formula:
 For $15 \text{ ft.} \leq z \leq z_g$ For $z < 15 \text{ ft.}$
 $K_z = 2.01 (z/z_g)^{2\alpha}$ $K_z = 2.01 (15/z_g)^{2\alpha}$
- α and z_g are tabulated in Table 26.9.1.
- Linear interpolation for intermediate values of height z is acceptable.
- Exposure categories are defined in Section 26.7.

Tabla 5.4 Coeficiente de exposición de presión de velocidad (ASCE, 2010).

Al tratarse de una estructura clasificada en la categoría B de exposición, los valores a emplear de K_z para efectos de cálculo en nuestro caso, se muestran en la Tabla 5.5.

Altura (m)	K_z
0-4.6	0.57
-6.1	0.62
-7.6	0.66
-9.1	0.70

-12.2	0.76
-15.2	0.81
-18.0	0.85
-21.3	0.89
-24.4	0.93
-27.4	0.96
-30.5	0.99
-36.6	1.04

Tabla 5.5 Valores de K_z a distintas alturas en una edificación categoría B de exposición.

Debido a la falta del dato K_h , se realiza una interpolación entre los valores K_h a 30.5 y 36.6 metros (0.99 y 1.04 respectivamente), resultando que para una altura de 31.92 m, el valor de K_h es de **1.009**.

5.1.1.5 Determinación de la presión por velocidad q_z o q_h .

En la Sección 27.3.2 del ASCE7 se muestra la ecuación correspondiente para el cálculo de q_z en el Sistema Internacional (Ecuación 5.1).

$$q_z = 0.613K_zK_{zt}K_dV^2 \text{ (N/m}^2\text{); } V \text{ in m/s] \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Al ya contar con todos los valores que se solicitan en la Ecuación 5.1, únicamente se debe realizar el cálculo respectivo mediante reemplazo de las variables. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 5.6.

Altura (m)	q_z (N/m ²)
0-4.6	154.798
-6.1	168.377
-7.6	179.240
-9.1	190.103
-12.2	206.398
-15.2	219.976
-18	230.840

-21.3	241.703
-24.4	252.566
-27.4	260.713
-30.5	268.860
-31.92	271.820

Tabla 5.6 Valores de q_z a diferentes alturas.

Conociendo el valor de h (31.92 m), el valor resultante para q_h es 271.820 N/m^2 .

5.1.1.6 Determinación del coeficiente de presión externa, C_p o C_n .

Para ello, recurrimos a la Sección 27.4 de la ASCE7 en la que se presenta una tabla en la que se definen los valores de C_p . Dicha figura se muestra en la Tabla 5.7, en la que se muestran los valores de C_p para paredes y techos.

Main Wind Force Resisting System – Part 1		All Heights											
Figure 27.4-1 (cont.)		External Pressure Coefficients, C_p											
Enclosed, Partially Enclosed Buildings		Walls & Roofs											
Wall Pressure Coefficients, C_p													
	Surface	L/B		C_p		Use With							
	Windward Wall	All values		0.8		q_z							
	Leeward Wall	0-1		-0.5		q_h							
		2		-0.3									
		≥ 4		-0.2									
	Side Wall	All values		-0.7		q_h							
Roof Pressure Coefficients, C_p , for use with q_h													
Wind Direction	Windward										Leeward		
	Angle, θ (degrees)												
		h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	≥ 20
Normal to ridge for $\theta \geq 10^\circ$	≤ 0.25	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	0.0*	0.4	0.4	0.01 θ	-0.3	-0.5	-0.6
	0.5	-0.9	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	0.0*	0.4	0.01 θ	-0.5	-0.5	-0.6
	≥ 1.0	-1.3**	-1.0	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	0.0*	0.3	0.01 θ	-0.7	-0.6	-0.6
Normal to ridge for $\theta < 10^\circ$ and Parallel to ridge for all θ	≤ 0.5	Horiz distance from windward edge			C_p		*Value is provided for interpolation purposes. **Value can be reduced linearly with area over which it is applicable as follows						
		0 to h/2			-0.9, -0.18								
		h/2 to h			-0.9, -0.18								
		h to 2h			-0.3, -0.18								
≥ 1.0	0 to h/2			-1.3**, -0.18		Area (sq ft)		Reduction Factor					
	> h/2			-0.7, -0.18		≤ 100 (9.3 sq m)		1.0					
						250 (23.2 sq m)		0.9					
					≥ 1000 (92.9 sq m)		0.8						
Notes:													
1. Plus and minus signs signify pressures acting toward and away from the surfaces, respectively.													
2. Linear interpolation is permitted for values of L/B, h/L and θ other than shown. Interpolation shall only be carried out between values of the same sign. Where no value of the same sign is given, assume 0.0 for interpolation purposes.													
3. Where two values of C_p are listed, this indicates that the windward roof slope is subjected to either positive or negative pressures and the roof structure shall be designed for both conditions. Interpolation for intermediate ratios of h/L in this case shall only be carried out between C_p values of like sign.													
4. For monoslope roofs, entire roof surface is either a windward or leeward surface.													
5. For flexible buildings use appropriate G_f as determined by Section 26.9.4.													
6. Refer to Figure 27.4-2 for domes and Figure 27.4-3 for arched roofs.													
7. Notation: B: Horizontal dimension of building, in feet (meter), measured normal to wind direction. L: Horizontal dimension of building, in feet (meter), measured parallel to wind direction. h: Mean roof height in feet (meters), except that eave height shall be used for $\theta \leq 10$ degrees. z: Height above ground, in feet (meters). G: Gust effect factor. q_z, q_h : Velocity pressure, in pounds per square foot (N/m^2), evaluated at respective height. θ : Angle of plane of roof from horizontal, in degrees.													
8. For mansard roofs, the top horizontal surface and leeward inclined surface shall be treated as leeward surfaces from the table.													
9. Except for MWFRS's at the roof consisting of moment resisting frames, the total horizontal shear shall not be less than that determined by neglecting wind forces on roof surfaces.													
#For roof slopes greater than 80° , use $C_p = 0.8$													

Tabla 5.7 Valores de C_p para paredes y techos de las edificaciones (ASCE, 2010).

Los valores a utilizar en los cálculos para nuestro caso serán los siguientes:

- Paredes.- Barlovento: 0.8, Sotavento: -0.5 (con q_h), Laterales: -0.7 (con q_h).
- Cubierta: -0.9 y -0.18.

5.1.1.7 Factor de reducción Ri.

De acuerdo a las condiciones del edificio en cuestión (edificio de gran volumen), el coeficiente de presión interna debe ser multiplicado por un factor de reducción Ri. El mismo se calcula de acuerdo a la Ecuación 5.2 mostrada a continuación:

$$R_i = 0.5 \left(1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{V_i}{22.800 A_{og}}}} \right) < 1.0$$

Ecuación 5.2 (ASCE, 2010)

Siendo,

A_{og} , área total de aberturas en el perímetro del edificio.

V_i , volumen interno de la edificación.

$A_{og} = 14\text{m}^2(\text{abertura por piso}) \times 12 (\text{No. de pisos}) = 168 \text{ m}^2$

$V_i = 31.92\text{m} \times 24\text{m} \times 18\text{m} = 13789.44\text{m}^3$

$$R_i = 0.5 \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{13789.44}{22.800(168)}}} \right] = 0.9991$$

$+GC_{pi} = 0.18 \times 0.9991 = 0.1798$

$-GC_{pi} = -0.18 \times 0.9991 = -0.1798$

5.1.1.8 Cálculo de la presión del viento, p, en cada superficie.

Partiendo del hecho de que nuestro caso trata de una edificación rígida, para el cálculo de esta presión vamos a emplear la Ecuación 5.3, la misma que en la Sección 27.4 del ASCE7-10 es presentada para el cálculo de la presión de viento en edificaciones rígidas.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \text{ (lb/ft}^2 \text{) (N/m}^2\text{)} \quad \text{Ecuación 5.3}$$

El cálculo de p se realiza en todas las superficies y a distintas alturas de la edificación. Los resultados para barlovento se presentan en la Tabla 5.8 a continuación.

Altura (m)	q_z (N/m ²)	p (N/m ²)	
		Barlovento (+GC _{pi} =0.1798)	Barlovento (-GC _{pi} =-0.1798)
0-4.6	154.798	77.430	133.096
6.1	168.377	84.222	144.771
7.6	179.240	89.656	154.111
9.1	190.103	95.090	163.451
12.2	206.398	103.240	177.461
15.2	219.976	110.032	189.136
18	230.840	115.466	198.476
21.3	241.703	120.900	207.816
24.4	252.566	126.333	217.156
27.4	260.713	130.409	224.161
30.5	268.860	134.484	231.166
31.92	271.820	135.965	233.711

Tabla 5.8 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.

Para las paredes laterales, en sotavento y la cubierta se utiliza únicamente el valor de q_h para el cálculo de la presión de viento. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Paredes laterales, $c_p=-0.7$:

$$+GC_{pi} \quad p=(271.82*0.85*-0.7)-(271.82*0.1798)= -210.606 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \quad p=(271.82*0.85*-0.7)-(271.82*-0.1798)= -112.860 \text{ N/m}^2$$

Sotavento, $c_p=-0.5$:

$$+GC_{pi} p=(271.82*0.85*-0.5)-(271.82*0.1798)= -164.397 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p=(271.82*0.85*-0.5)-(271.82*-0.1798)= -66.650 \text{ N/m}^2$$

Cubierta, $c_p=-0.9$ y $c_p=-0.18$:

$$+GC_{pi} p=(271.82*0.85*-0.9)-(271.82*0.1798)= -256.816 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p=(271.82*0.85*-0.9)-(271.82*-0.1798)= -159.069 \text{ N/m}^2$$

$$+GC_{pi} p=(271.82*0.85*-0.18)-(271.82*0.1798)= -90.462 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p=(271.82*0.85*-0.18)-(271.82*-0.1798)= +7.285 \text{ N/m}^2$$

Los valores seleccionados son aquellos que representan el número más alto al obtener su valor absoluto para cada caso. Los resultados finales se presentan en la Tabla 5.9, y gráficamente en las Figuras 5.1 y 5.2.

Superficie	Altura (m)	Presión de viento [N/m ²]
Pared a Barlovento	0-4.5	77.430
	6.0	84.222
	7.5	89.656
	9.0	95.090
	12.0	103.240
	15.0	110.032
	18.0	115.466
	20.0	120.900
	24.5	126.333
	27.5	130.409
	30.5	134.484
	31.92	135.965
Pared a Sotavento	-	-164.397
Paredes laterales	-	-210.606
Cubierta (a barlovento y sotavento)	-	-256.816

Tabla 5.9 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.

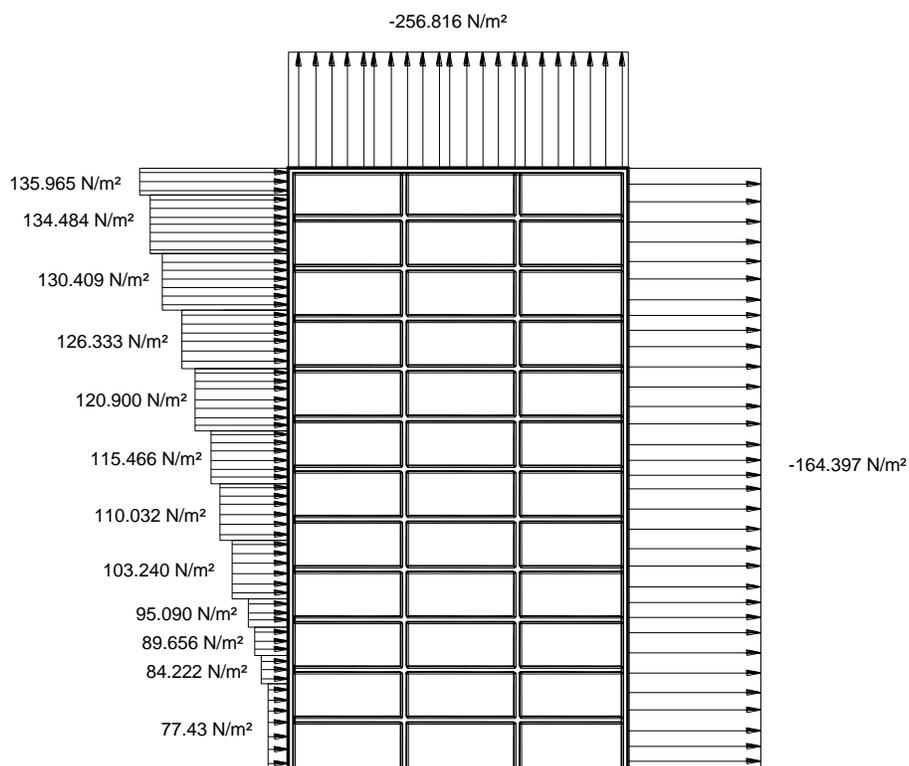


Figura 5.1 Cargas distribuidas de viento en barlovento (izq), sotavento (der) y cubierta (sup); vista lateral.

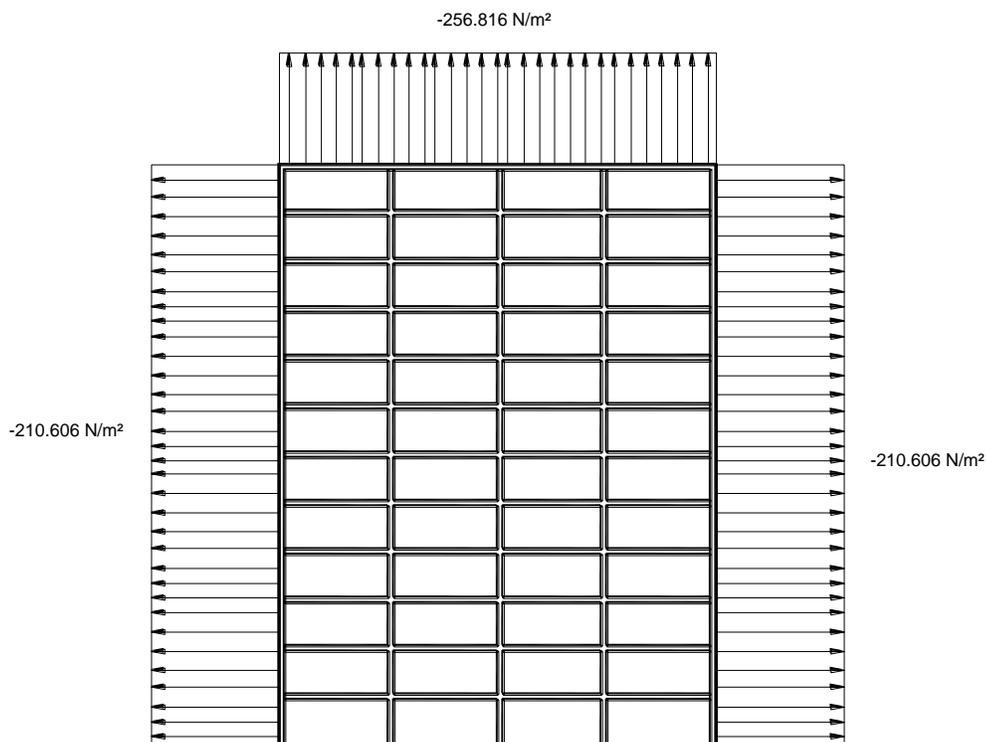


Figura 5.2 Cargas distribuidas de viento en paredes laterales (der. & izq.) y cubierta (sup.); vista frontal.

5.1.2 Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador.

5.1.2.1 Determinación de la categoría de riesgo de la edificación u otra estructura.

De acuerdo a lo que se solicita en este primer punto, se recurre a la tabla 1.5-1 (Tabla 5.1) de la norma ASCE7-10 (ASCE, 2010).

Con las características de la edificación empleada, se determina que la misma se encuentra en la *Categoría I*.

5.1.2.2 Determinación de la velocidad V , de acuerdo a la categoría de riesgo.

Dentro de la Sección 26.5.1 del código ASCE7-10 se desarrolla un proceso en el que se emplean mapas de viento de los Estados Unidos; en 50 años, y probabilidades de excedencia de 15%, 7% y 3% para edificios en categoría de riesgo I, II y III/IV respectivamente (ASCE, 2010).

De acuerdo a lo calculado en el capítulo III, y tomando en cuenta que la estructura en estudio se encuentra en la categoría I, para la ciudad de Guayaquil (centro de la ciudad) se establece un valor de velocidad de viento con una probabilidad de excedencia de 15% a la que corresponde un periodo de retorno de 300 años, de **18.009 m/s**.

5.1.2.3 Determinación de parámetros en la carga de viento.

- *Factor de direccionalidad del viento K_d .*

Para ello, se emplea la Tabla 5.2 en la que se muestra los valores de los factores de direccionalidad del viento.

Al tratarse de un edificio en este caso, el valor del factor de direccionalidad es **0.85**.

- *Categorización de acuerdo a la exposición.*

En la Sección 26.7 del código ASCE7 se muestran las distintas categorías de exposición en las edificaciones, las mismas que van desde la categoría B, pasando por la C, hasta la D. Para efectos de cálculo, la categoría que se aplica en este caso es **B**, esto al tratarse de un área en donde predominan las edificaciones con alturas mayores a casa unifamiliares dentro de una zona urbana.

- *Factor topográfico, K_{zt} .*

De acuerdo a lo expuesto en la Sección 26.8.2 de la norma ASCE, se establece un valor para este factor igual a **$K_{zt}=1$** (ASCE, 2010).

- *Factor de efecto de ráfaga, G .*

En la Sección 26.9.1 del código ASCE7 se indica que el valor para este factor en estructuras rígidas u otros, es igual a **0.85** (ASCE, 2010).

- *Coefficiente de presión interna, GC_{pi} .*

En la Sección 26.11 de la ASCE7, se muestra la Tabla 5.3, la misma que contiene los valores de GC_{pi} de las estructuras de acuerdo a su clasificación de “cerramiento”.

Para el ejemplo, al tratarse de una edificación cerrada, se toman los valores GC_{pi} de **+0.18 y -0.18**.

5.1.2.4 Determinación del coeficiente de exposición a la presión de velocidad, K_z o K_h .

Los coeficientes de exposición a la presión de velocidad K_z se muestran en la Tabla 5.4Tabla 5.5 Valores de K_z a distintas alturas en una edificación categoría B de exposición., la misma que fue extraída de la Sección 27.3 del código ASCE7. En dicha tabla, se presentan los valores K_z de acuerdo a la clasificación de exposición de la estructura.

Al tratarse de una estructura clasificada en la categoría B de exposición, los valores a emplear de K_z para efectos de cálculo en nuestro caso, se muestran en la Tabla 5.10.

Altura (m)	K_z
0-4.6	0.57
-6.1	0.62
-7.6	0.66
-9.1	0.70
-12.2	0.76
-15.2	0.81
-18.0	0.85
-21.3	0.89
-24.4	0.93
-27.4	0.96
-30.5	0.99
-36.6	1.04

Tabla 5.10Valores de K_z a distintas alturas en una edificación categoría B de exposición, caso 2.

Debido a la falta del dato K_h , se realiza una interpolación entre los valores K_h a 30.5 y 36.6 metros (0.99 y 1.04 respectivamente), resultando que para una altura de 31.92 m, el valor de K_h es de **1.0009**.

5.1.2.5 Determinación de la presión por velocidad q_z o q_h .

Al contar con todos los valores que se solicitan en la ecuación 1, únicamente se debe realizar el cálculo respectivo mediante reemplazo de las variables. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 5.11.

Altura (m)	q_z (N/m ²)
0-4.6	96.324
-6.1	104.773
-7.6	111.533
-9.1	118.292
-12.2	128.432
-15.2	136.881
-18.0	143.641
-21.3	150.400
-24.4	157.160
-27.4	162.229
-30.5	167.299
-31.92	169.141

Tabla 5.11 Valores de q_z a diferentes alturas para primer edificio de estudio.

Conociendo el valor de h (31.92 m), el valor resultante para q_h es 169.141 N/m².

5.1.2.6 Determinación del coeficiente de presión externa, C_p o C_n .

Para ello, recurrimos a la Sección 27.4 de la ASCE7 en la que se presenta una tabla en la que se definen los valores de C_p . Dicha figura se muestra en la Tabla 5.7, en la que se muestran los valores de C_p para paredes y techos.

Los valores a utilizar en los cálculos para nuestro caso serán los siguientes:

- Paredes.- Barlovento: 0.8, Sotavento: -0.5 (con q_h), Laterales: -0.7 (con q_h).
- Cubierta: -0.9 y -0.18.

5.1.2.7 Factor de reducción Ri.

De acuerdo a las condiciones del edificio en cuestión (edificio de gran volumen), el coeficiente de presión interna debe ser multiplicado por un factor de reducción Ri. El mismo se calcula de acuerdo a la Ecuación 5.2.

$$A_{og}=14\text{m}^2(\text{abertura por piso}) \times 12 (\text{No. de pisos}) = 168 \text{ m}^2$$

$$V_i=31.92\text{m} \times 24\text{m} \times 18\text{m} = 13789.44\text{m}^3$$

$$R_i = 0.5 \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{13789.44}{22.800(168)}}} \right] = 0.9991$$

$$+GC_{pi}= 0.18 \times 0.9991 = 0.1798$$

$$-GC_{pi}= -0.18 \times 0.9991 = -0.1798$$

5.1.2.8 Cálculo de la presión del viento, p, en cada superficie.

Partiendo del hecho de que nuestro caso trata de una edificación rígida, para el cálculo de esta presión vamos a emplear la Ecuación 5.3, la misma que en la Sección 27.4 del ASCE7-10 es presentada para el cálculo de la presión de viento en edificaciones rígidas.

El cálculo de p se realiza en todas las superficies y a distintas alturas de la edificación. Los resultados para barlovento se presentan en la Tabla 5.12.

Altura (m)	q_z (N/m ²)	p (N/m ²)	
		Barlovento (+GC _{pi} =0.1798)	Barlovento (-GC _{pi} =-0.1798)
0-4.6	96.324	48.181	82.819
6.1	104.773	52.408	90.084
7.6	111.533	55.789	95.896
9.1	118.292	59.170	101.708
12.2	128.432	64.242	110.426
15.2	136.881	68.468	117.690
18	143.641	71.849	123.502
21.3	150.400	75.230	129.314
24.4	157.160	78.611	135.126
27.4	162.229	81.147	139.485
30.5	167.299	83.683	143.844
31.92	169.141	84.604	145.428

Tabla 5.12 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.

Para las paredes laterales, en sotavento y la cubierta se utiliza únicamente el valor de q_h para el cálculo de la presión de viento. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Paredes laterales, $c_p=-0.7$:

$$+GC_{pi} \quad p=(169.141*0.85*-0.7)-(169.141*0.1798)= -131.051 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \quad p=(169.141*0.85*-0.7)-(169.141*-0.1798)= -70.227 \text{ N/m}^2$$

Sotavento, $c_p=-0.5$:

$$+GC_{pi} \quad p=(169.141*0.85*-0.5)-(169.141*0.1798)= -102.297 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \quad p=(169.141*0.85*-0.5)-(169.141*-0.1798)= -41.473 \text{ N/m}^2$$

Cubierta, $c_p=-0.9$ y $c_p=-0.18$:

$$+GC_{pi} \quad p=(169.141*0.85*-0.9)-(169.141*0.1798)= -159.805 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \quad p=(169.141*0.85*-0.9)-(169.141*-0.1798)= -98.981 \text{ N/m}^2$$

$$+GC_{pi} \quad p=(169.141*0.85*-0.18)-(169.141*0.1798)= -56.290 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p = (169.141 * 0.85 * -0.18) - (169.141 * -0.1798) = +4.533 \text{ N/m}^2$$

Los valores seleccionados son aquellos que representan el número más bajo para cada caso. Los resultados finales se presentan en la Tabla 5.13, y gráficamente en las Figuras 5.3 y 5.4.

Superficie	Altura (m)	Presión de viento [N/m ²]
Pared a Barlovento	0-4.6	96.324
	6.1	104.773
	7.6	111.533
	9.1	118.292
	12.2	128.432
	15.2	136.881
	18.0	143.641
	21.3	150.400
	24.4	157.160
	27.4	162.229
	30.5	167.299
31.92	169.141	
Pared a Sotavento	-	-102.297
Paredes laterales	-	-131.051
Cubierta (a barlovento y sotavento)	-	-159.805

Tabla 5.13 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.

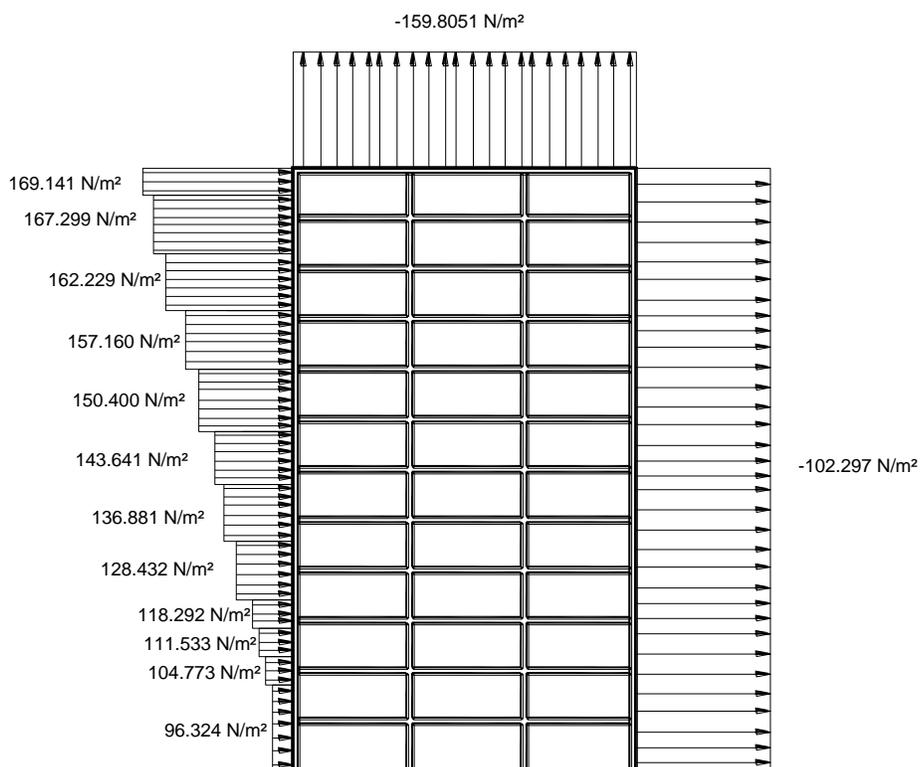


Figura 5.3 Distribución de la carga de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.); vista lateral.

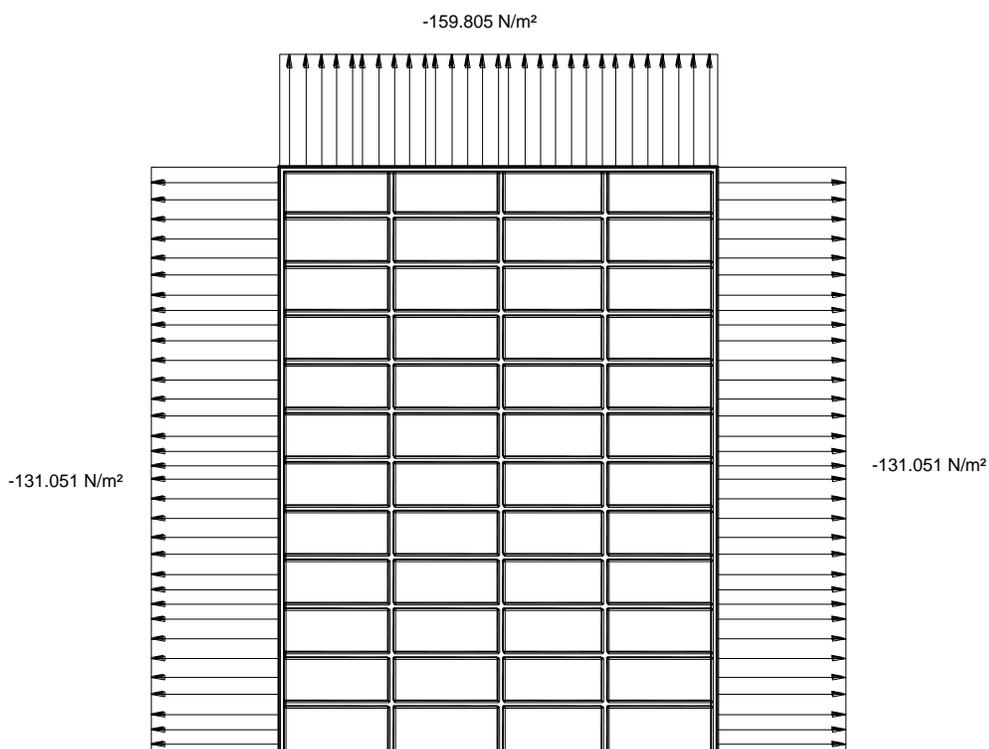


Figura 5.4 Distribución de cargas en paredes laterales (izq. & der.) y cubierta (sup.); vista frontal.

5.1.3 Segundo edificio de estudio: SwissTowers.

5.1.3.1 Determinación de la categoría de riesgo de la edificación u otra estructura.

De acuerdo a lo que se solicita en este primer punto, se recurre a la tabla 1.5-1 (Tabla 5.1) de la norma ASCE7-10 (ASCE, 2010). Con las características de la edificación empleada, se determina que la misma se encuentra en la *Categoría II*.

5.1.3.2 Determinación de la velocidad V , de acuerdo a la categoría de riesgo.

Dentro de la Sección 26.5.1 del código ASCE7-10 se desarrolla un proceso en el que se emplean mapas de viento de los Estados Unidos; en 50 años, y probabilidades de excedencia de 15%, 7% y 3% para edificios en categoría de riesgo I, II y III/IV respectivamente (ASCE, 2010).

De acuerdo a lo calculado en el capítulo III, y tomando en cuenta que la estructura en estudio se encuentra en la categoría II, para la ciudad de Guayaquil (centro de la ciudad) se establece un valor de velocidad de viento con una probabilidad de excedencia de 7% a la que corresponde un periodo de retorno de 700 años, de **18.663 m/s**.

5.1.3.3 Determinación de parámetros en la carga de viento.

- *Factor de direccionalidad del viento K_d .*

Para ello, se emplea la Tabla 5.2 en la que se muestra los valores de los factores de direccionalidad del viento. Al tratarse de un edificio en este caso, el valor del factor de direccionalidad es **0.85**.

- *Categorización de acuerdo a la exposición.*

En la Sección 26.7 del código ASCE7-10 se muestran las distintas categorías de exposición en las edificaciones, las mismas que van desde la categoría B, pasando por la C, hasta la D. Para efectos de cálculo, la categoría que se aplica en este caso es **B**, esto al tratarse de un área en donde predominan las edificaciones con alturas mayores a casas unifamiliares dentro de la zona urbana (ASCE, 2010).

- *Factor topográfico, K_{zt} .*

De acuerdo a lo expuesto en la Sección 26.8.2 de la norma ASCE, se establece un valor para este factor igual a $K_{zt}=1$ (ASCE, 2010).

- *Factor de efecto de ráfaga, G_f .*

En la Sección 26.9.5 del código ASCE7 se indica que el valor de este factor se debe hallar a partir de la Ecuación 5.4, la misma que se emplea en aquellas estructuras flexibles.

$$G_f = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1.7g_v I_z} \right) \quad \text{Ecuación 5.4}$$

En donde g_Q y g_v deben ser tomados como 3.4, g_R está dado por la Ecuación 5.5.

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3,600n_1)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3,600n_1)}} \quad \text{Ecuación 5.5}$$

R es el factor de respuesta para la resonancia, el mismo se obtiene al emplear la Ecuación 5.6.

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0.53 + 0.47R_L)} \quad \text{Ecuación 5.6}$$

Para las demás variables presentes en las fórmulas antes mostradas, se emplean las ecuaciones 5.7, 5.8, 5.9 y 5.10.

$$R_n = \frac{7.47N_1}{(1+10.3N_1)^{5/3}} \quad \text{Ecuación 5.7}$$

$$N_1 = \frac{n_1 L_z}{\bar{V}_z} \quad \text{Ecuación 5.8}$$

$$R_\ell = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2}(1 - e^{-2\eta}) \quad \text{for } \eta > 0$$

$$R_\ell = 1 \quad \text{for } \eta = 0 \quad \text{Ecuación 5.9}$$

$$I_z = c \left(\frac{10}{z} \right)^{1/6} \quad \text{Ecuación 5.10}$$

El valor de n_1 se obtiene de la obtención de la frecuencia natural de la estructura. El subíndice l en la Ecuación 5.9 deberá ser reemplazado con h , B y L en cada caso, además, según se muestra en la Sección 26.9.5 de la ASCE7-10 debe considerarse lo siguiente:

$$\begin{aligned} R_\ell &= R_h \text{ setting } \eta = 4.6n_1h/\bar{V}_z \\ R_\ell &= R_B \text{ setting } \eta = 4.6n_1B/\bar{V}_z \\ R_\ell &= R_L \text{ setting } \eta = 15.4n_1L/\bar{V}_z \end{aligned} \quad (\text{ASCE, 2010})$$

β es el coeficiente de amortiguamiento (0.05), \bar{V}_z es la velocidad media horaria (m/s) a una altura z (m) que se encuentra aplicando la Ecuación 5.11, B es 34.26 m (mayor dimensión de la estructura vista en planta), L es 34.20 m (menor dimensión de la cubierta vista en planta) y h es 190 m. V es la velocidad básica del viento (m/s).

$$\bar{V}_z = \bar{b} \left(\frac{z}{10} \right)^{\bar{\alpha}} V \quad \text{Ecuación 5.11}$$

Las constantes \bar{b} y $\bar{\alpha}$ son mostradas en la Tabla 5.14.

<i>In metric</i>										
Exposure	α	z_g (m)	$\hat{\alpha}$	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	ℓ (m)	$\bar{\epsilon}$	z_{min} (m)*
B	7.0	365.76	1/7	0.84	1/4.0	0.45	0.30	97.54	1/3.0	9.14
C	9.5	274.32	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	0.20	152.4	1/5.0	4.57
D	11.5	213.36	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	198.12	1/8.0	2.13

* z_{min} = minimum height used to ensure that the equivalent height \bar{z} is greater of $0.6h$ or z_{min} .
For buildings with $h \leq z_{min}$, \bar{z} shall be taken as z_{min} .

Tabla 5.14 Constantes de exposición del terreno, sistema métrico (ASCE, 2010).

Las constantes \bar{b} y $\bar{\alpha}$ tienen un valor de 0.45 y 0.25 respectivamente, de acuerdo a la Tabla 5.14 para un edificio ubicado en una zona donde la exposición corresponde a la categoría B.

Para obtener el valor de G_r , es necesario conocer los resultados de todas las variables que en la ecuación intervienen. Para cumplir con ello, se sigue el procedimiento a continuación mostrado:

- El valor de Q , se determina mediante el uso de la Ecuación 5.13, sin embargo previamente es necesario conocer el valor de L_z que en dicha ecuación se muestra, la misma se establece por medio de la Ecuación 5.12.

$$L_z = \ell \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\epsilon}}$$

Ecuación 5.12

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \left(\frac{B+h}{L_z} \right)^{0.63}}}$$

Ecuación 5.13

Los valores de l y $\bar{\epsilon}$ son determinados por medio de la Tabla 5.14, los mismos que resultan ser 97.5 m y 1/3, respectivamente. Cabe recalcar, que el valor de \bar{z} es definido en la Sección 26.9.4 de la ASCE7-10, como la “altura equivalente de la edificación” $0.6h$ (h : altura del edificio), la misma no puede ser menor a z_{\min} mostrado en la Tabla 5.14. Los valores de B y h son 34.26 y 190 metros respectivamente.

$$L_{\bar{z}} = 97.5 \left(\frac{114}{10} \right)^{1/3} = 219.435$$

Por lo tanto Q ,

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.62 \left(\frac{34.26 + 190}{219.435} \right)^{0.63}}} = 0.784$$

- b. Para el siguiente paso, es necesario conocer el periodo de vibración de la estructura (T), el mismo que es de 6 segundos (Romo, 2015). Con este dato, es posible conocer el valor de la frecuencia natural del sistema n_1 con la Ecuación 5.14.

$$n_1 = \frac{2\pi}{T} \quad \text{Ecuación 5.14}$$

$$n_1 = \frac{2\pi}{6} = 1.047 \text{ rad/s}$$

- c. Conocido el resultado en la parte b , con la Ecuación 5.5 se obtiene como resultado de g_R lo siguiente:

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3600(1.047))} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3600(1.047))}} = 4.20$$

- d. El valor de I_z , con la Ecuación 5.10, se determina conociendo los valores de c (0.3, establecido con la Tabla 5.14) y \bar{z} (114 m, calculado en la parte a).

$$I_{\bar{z}} = 0.3 \left(\frac{10}{114} \right)^{1/6} = 0.19997$$

- e. A continuación, se calcula la media horaria de la velocidad del viento. Conociendo que V es 19 m/s, \bar{z} es 114 m, \bar{b} es 0.45 y $\bar{\alpha}$ es 0.25; se obtiene:

$$\bar{V}_{\bar{z}} = \left[0.45 \left(\frac{114}{10} \right)^{0.25} \right] * 19 = 15.71 \text{ m/s}$$

- f. Una vez determinado $\bar{V}_{\bar{z}}$, se procede con el cálculo de N_1 (Ecuación 5.8).

$$N_1 = \frac{1.047 * 219.435}{15.71} = 14.62$$

- g. Posteriormente, con N_1 calculado se emplea la Ecuación 5.7 para encontrar el valor de R_n .

$$R_n = \frac{7.47 * 14.62}{(1 + (10.3 * 14.62))^{5/3}} = 0.0253$$

- h. En este punto, se calcula en conjunto los valores de R_h , R_B y R_L , ya que las mismas se derivan de una misma fórmula (Ecuación 5.9).

$$\eta_h = 4.6 * 1.047 * \frac{190}{15.71} = 58.25$$

$$R_h = \frac{1}{58.25} - \frac{1}{2(58.25)^2} (1 - e^{-2(58.25)}) = 0.017$$

$$\eta_B = 4.6 * 1.047 * \frac{34.26}{15.71} = 10.50$$

$$R_B = \frac{1}{10.50} - \frac{1}{2(10.50)^2} (1 - e^{-2(10.50)}) = 0.0907$$

$$\eta_L = 15.4 * 1.047 * \frac{34.20}{15.71} = 35.10$$

$$R_B = \frac{1}{35.10} - \frac{1}{2(35.10)^2} (1 - e^{-2(35.10)}) = 0.0281$$

- i. Con ayuda de los resultados en los apartados *g* y *h*, se emplea la Ecuación 5.6 para hallar el resultado de *R*.

$$R = \sqrt{\frac{1}{0.05} * 0.0253 * 0.017 * 0.0907 * (0.53 + (0.47 * 0.0298))} = 0.0206$$

- j. Una vez conocidas todas las variables que intervienen para el cálculo del factor de efecto ráfaga, se finaliza utilizando la Ecuación 5.4.

$$G_f = 0.925 \left[\frac{1 + 1.7(0.19997) \sqrt{(3.4^2 * 0.784^2) + (3.4^2 * 0.0206^2)}}{1 + 1.7(3.4 * 0.19997)} \right] = 0.8843$$

- *Coefficiente de presión interna, GC_{pi}*

En la Sección 26.11 de la ASCE7, se muestra la Tabla 5.3, la misma que contiene los valores de GC_{pi} de las estructuras de acuerdo a su clasificación de “cerramiento”. Para el edificio en cuestión, al tratarse de una edificación cerrada, se toman los valores **GC_{pi}** de **+0.18 y -0.18** (ASCE, 2010).

- *Coefficiente de presión interna, GC_{pi}.*

De acuerdo a las condiciones del edificio en estudio (edificio de gran volumen), el coeficiente de presión interna debe ser multiplicado por un factor de reducción Ri. El

presentado, se toma como dimensiones mismo se calcula de acuerdo a la Ecuación 5.2. En el cálculo a continuación de la puerta de ingreso/salida una de 5.4 m de ancho por 2.5 m de alto, tomando como referencia las dimensiones mínimas para el ancho, establecidas para los accesos a edificaciones donde acuden de 500 a 1000 personas dentro de la Ordenanza 3457 para el Distrito Metropolitano de Quito (Concejo Metropolitano de Quito, 2003).

$$A_{og} = \text{puerta de ingreso} = 5.4 * 2.5 = 13.5 \text{ m}^2$$

$$V_i = 190 \text{ m} \times 34.20 \text{ m} \times 34.26 \text{ m} = 222621.48 \text{ m}^3$$

$$R_i = 0.5 \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{222621.48}{22.800(13.5)}}} \right] = 0.8809$$

$$+GC_{pi} = 0.18 * 0.8809 = 0.1586$$

$$-GC_{pi} = -0.18 * 0.8809 = -0.1586$$

5.1.3.4 Determinación del coeficiente de exposición a la presión de velocidad, K_z o K_h .

Los coeficientes de exposición a la presión de velocidad K_z se muestran en la Tabla 5.4, la misma que fue extraída de la Sección 27.3 del código ASCE7. En dicha tabla, se presentan los valores K_z de acuerdo a la clasificación de exposición de la estructura, para aquellos que tienen hasta 152 metros de altura.

Al tratarse de una estructura clasificada en la categoría B de exposición, los valores a emplear de K_z para efectos de cálculo en nuestro caso, se muestran en la Tabla 5.15.

Altura (m)	K _z	Altura (m)	K _z
0-4.6	0.57	36.6	1.04
6.1	0.62	42.7	1.09
7.6	0.66	48.8	1.13
9.1	0.70	54.9	1.17
12.2	0.76	61.0	1.20
15.2	0.81	76.2	1.28
18.0	0.85	91.4	1.35
21.3	0.89	106.7	1.41
24.4	0.93	121.9	1.47
27.4	0.96	137.2	1.52
30.5	0.99		

Tabla 5.15 Valores de K_z a distintas alturas en una edificación categoría B de exposición aplicando el caso 2.

Debido a que el valor de K_z en la Tabla 5.4 se proporciona para estructuras de hasta 152 metros, se recurre a la Ecuación 5.15 para hallar los valores de K_z a alturas superiores hasta llegar a los 190 metros de la edificación en estudio. Los resultados se muestran en la Tabla 5.16.

For $15 \text{ ft.} \leq z \leq z_g$

$$K_z = 2.01 (z/z_g)^{2/\alpha}$$

Ecuación 5.15

De donde z_g (365.8 m) y α (7) se encuentran en la Tabla 5.14.

Altura (m)	K _z
155	1.57
160	1.59
165	1.60
170	1.61
175	1.63
180	1.64
185	1.65
190	1.67

Tabla 5.16 Valores de K_z para alturas mayores a 152 metros.

El dato de K_h para este caso, es igual al de K_z para una altura de 190 m, ya que al poseer una cubierta horizontal, la altura media de la misma es igual a la altura total de la edificación. Por lo tanto, **K_h=1.67**.

5.1.3.5 Determinación de la presión por velocidad q_z o q_h .

Al contar con todos los valores que se solicitan en la Ecuación 5.1, únicamente se debe realizar el cálculo respectivo mediante reemplazo de las variables. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 5.17.

Altura (m)	q_z (N/m ²)	Altura (m)	q_z (N/m ²)
0-4.6	103.447	61.0	217.783
6.1	112.521	76.2	232.302
7.6	119.781	91.4	245.006
9.1	127.040	106.7	255.895
12.2	137.929	121.9	266.784
15.2	147.003	137.2	275.858
18.0	154.263	152.4	283.118
21.3	161.522	155	285.425
24.4	168.782	160	288.026
27.4	174.226	165	290.569
30.5	179.671	170	293.058
36.6	188.745	175	295.496
42.7	197.819	180	297.884
48.8	205.079	185	300.225
54.9	212.338	190	302.521

Tabla 5.17 Valores de q_z a diferentes alturas.

Conociendo el valor de h (190 m), el valor resultante para q_h es 302.521 N/m^2 .

5.1.3.6 Determinación del coeficiente de presión externa, C_p o C_N .

Para ello, recurrimos a la Sección 27.4 de la ASCE7 en la que se presenta una tabla en la que se definen los valores de C_p . Dicha figura se muestra en la Tabla 5.7, en la que se muestran los valores de C_p para paredes y techos.

Los valores a utilizar en los cálculos para nuestro caso serán los siguientes:

- Paredes.- Barlovento: 0.8, Sotavento: -0.5 (con q_h), Laterales: -0.7 (con q_h).
- Cubierta: -0.9 y -0.18.

5.1.3.7 Cálculo de la presión del viento, p , en cada superficie.

Partiendo del hecho de que nuestro caso trata de una edificación flexible, para el cálculo de esta presión vamos a emplear la Ecuación 5.16 $q_z = 0.613K_zK_{zt}K_dV^2$ (N/m²); V in m/s] Ecuación 5.1, la misma que en la Sección 27.4.2 del ASCE7-10 es presentada para el cálculo de la presión de viento en edificaciones flexibles.

$$p = qG_fC_p - q_i(GC_{pi}) \text{ (lb/ft}^2\text{) (N/m}^2\text{)} \quad \text{Ecuación 5.16}$$

El cálculo de p se realiza en todas las superficies y a distintas alturas de la edificación. Los resultados para barlovento se presentan en la Tabla 5.18 a continuación.

Altura (m)	q_z (N/m ²)	p (N/m ²)	
		Barlovento (+ $GC_{pi}=0.1586$)	Barlovento (- $GC_{pi}=-0.1586$)
0-4.6	103.447	56.776	89.589
6.1	112.521	61.756	97.448
7.6	119.781	65.740	103.735
9.1	127.040	69.725	110.022
12.2	137.929	75.701	119.452
15.2	147.003	80.681	127.311
18.0	154.263	84.666	133.598
21.3	161.522	88.650	139.885
24.4	168.782	92.634	146.172
27.4	174.226	95.622	150.887
30.5	179.671	98.611	155.602
36.6	188.745	103.591	163.461
42.7	197.819	108.571	171.319
48.8	205.079	112.555	177.606
54.9	212.338	116.540	183.893
61.0	217.783	119.528	188.609
76.2	232.302	127.496	201.183
91.4	245.006	134.469	212.185
106.7	255.895	140.445	221.615
121.9	266.784	146.422	231.046
137.2	275.858	151.402	238.904

152.4	283.118	155.386	245.191
155	285.425	156.653	247.190
160	288.026	158.080	249.442
165	290.569	159.476	251.645
170	293.058	160.842	253.800
175	295.496	162.180	255.911
180	297.884	163.490	257.979
185	300.225	164.775	260.007
190	302.521	166.036	261.995

Tabla 5.18 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.

Para las paredes laterales, en sotavento y la cubierta se utiliza únicamente el valor de q_h para el cálculo de la presión de viento. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Paredes laterales, $c_p = -0.7$:

$$+GC_{pi} \ p = (302.521 * 0.8843 * -0.7) - (302.521 * 0.1586) = -235.243 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \ p = (302.521 * 0.8843 * -0.7) - (302.521 * -0.1586) = -139.284 \text{ N/m}^2$$

Sotavento, $c_p = -0.5$:

$$+GC_{pi} \ p = (302.521 * 0.8843 * -0.5) - (302.521 * 0.1586) = -181.739 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \ p = (302.521 * 0.8843 * -0.5) - (302.521 * -0.1586) = -85.780 \text{ N/m}^2$$

Cubierta, $c_p = -0.9$ y $c_p = -0.18$:

$$+GC_{pi} \ p = (302.521 * 0.8843 * -0.9) - (302.521 * 0.1586) = -288.747 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \ p = (302.521 * 0.8843 * -0.9) - (302.521 * -0.1586) = -192.788 \text{ N/m}^2$$

$$+GC_{pi} \ p = (302.521 * 0.8843 * -0.18) - (302.521 * 0.1586) = -96.133 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \ p = (302.521 * 0.8843 * -0.18) - (302.521 * -0.1586) = -0.174 \text{ N/m}^2$$

Los valores seleccionados son aquellos que representan el número más bajo para cada caso. Los resultados finales se presentan en la Tabla 5.19, y gráficamente en las Figuras 5.5 y 5.6.

Superficie	Altura (m)	Presión de viento [N/m ²]
Pared a Barlovento	0-4.6	56.776
	6.1	61.756
	7.6	65.740
	9.1	69.725
	12.2	75.701
	15.2	80.681
	18.0	84.666
	21.3	88.650
	24.4	92.634
	27.4	95.622
	30.5	98.611
	36.6	103.591
	42.7	108.571
	48.8	112.555
	54.9	116.540
	61.0	119.528
	76.2	127.496
	91.4	134.469
	106.7	140.445
	121.9	146.422
137.2	151.402	
152.4	155.386	
	155	156.653
	160	158.080
	165	159.476
	170	160.842
	175	162.180
	180	163.490
	185	164.775
	190	166.036
Pared a Sotavento	-	-181.739
Paredes laterales	-	-235.243
Cubierta (a barlovento y sotavento)	-	-288.74

Tabla 5.19 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.

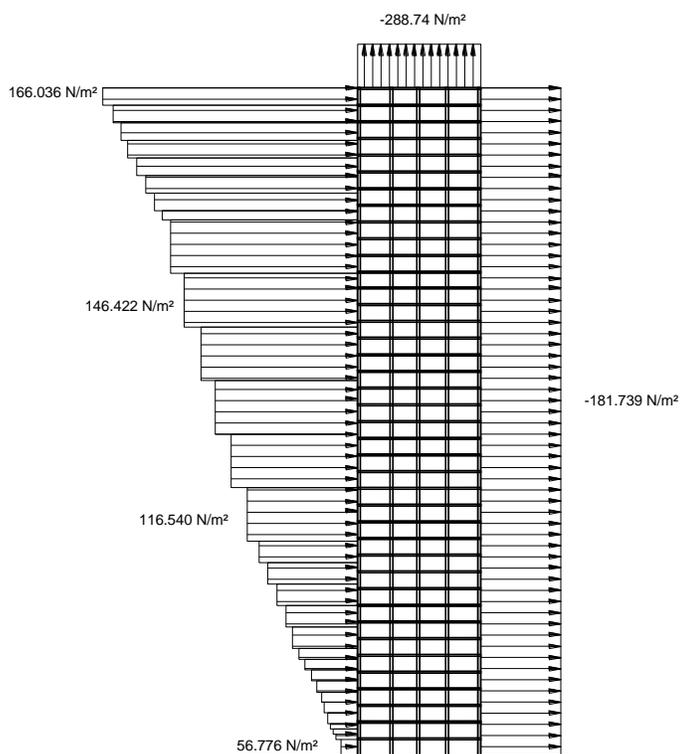


Figura 5.5 Cargas distribuidas de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.); vista lateral.

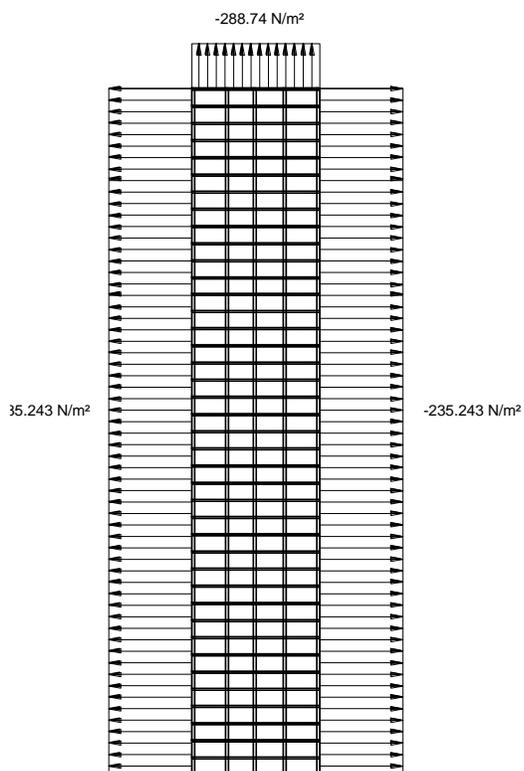


Figura 5.6 Cargas distribuidas de viento en paredes laterales (izq. & der.) y cubierta (sup.); vista frontal.

5.2 Aplicación del método analítico de la Norma Sismo Resistente de Colombia (NSR-10) para el cálculo de la presión de viento.

5.2.1 Primer edificio de estudio: Quito, Ecuador.

5.2.1.1 Determinación de la velocidad de viento básica.

En el capítulo B.6 de la NSR-10, para determinar la velocidad básica del viento se emplea un mapa con zonas de amenaza eólica del territorio colombiano (NSR-10, 2010), sin proporcionar información que precise la forma en que los datos allí mostrados se obtuvieron. Sin embargo, ante la similitud entre los procesos mostrados en los códigos NSR-10 y ASCE7-10, se tomará el mismo parámetro para la toma de la velocidad básica de viento mostrada en este último. De esta manera, se toma como velocidad básica de viento para el sector de Cotacollao, en la ciudad de Quito, **22.830 m/s** considerando que la edificación se encuentra en la primera categoría de riesgo, tanto bajo las condiciones de la NSR-10 como de la ASCE7-10.

5.2.1.2 Determinación de parámetros en la carga de viento.

- *Factor de direccionalidad del viento K_d .*

Para ello, se emplea la Tabla 5.20 en la que se muestra los valores de los factores de direccionalidad del viento.

Tipo de Estructura	Factor de Direccionalidad del Viento, K_d *
Edificios	
Sistema Principal de Resistencia de Cargas de Viento	0.85
Componentes y Recubrimientos	0.85
Cubiertas Abovedadas	0.85
Chimeneas, Tanques y Estructuras Similares	
Cuadradas	0.90
Hexagonales	0.95
Redondas	0.95
Avisos Sólidos	0.85
Avisos Abiertos y Estructura Rectangular	0.85
Torres en Celosía	
Triangular, Cuadrada y Rectangular	0.85
Todas las otras secciones transversales	0.95

Tabla 5.20 Factor de direccionalidad del viento (NSR-10, 2010).

Al tratarse de un edificio en este caso, el valor del factor de direccionalidad es **0.85**.

- *Determinación de la categoría de uso de la edificación.*

De acuerdo a lo que se solicita en este primer punto, se recurre a la Sección A.2.5.1 (Tabla 5.21) de la NSR-10 (NSR-10, 2010), la misma que se muestra a continuación:

Grupo IV: Edificaciones Indispensables	Aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo.	a. Todas las edificaciones que componen hospitales, clínicas y centros de salud.
		b. Aeropuertos, estaciones ferroviarias y de sistemas masivos de transporte, centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión.
		c. Refugios para emergencias, centrales de aeronavegación, hangares de aeronaves de servicio de emergencia.
		d. Edificaciones de centrales de operación y control de líneas eléctricas, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos.
		e. Edificios que contengan agentes explosivos, tóxicos y dañinos para el público.
		f. Plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras de sistemas contra incendios, y accesos peatonales y vehiculares de las edificaciones.
Grupo III: Edificaciones de atención a la comunidad	Aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor. Exceptuando las incluidas en el grupo IV	a. Estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas y sedes de oficinas de prevención y atención de desastres.
		b. Garajes de vehículos de emergencia.
		c. Estructuras y equipos de centros de atención de emergencias.
		d. Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza.
		e. Aquellas del grupo II para las que el propietario desee contar con seguridad adicional.
		f. Aquellas que las administración municipal, distrital, departamental o nacional designe como tal.
Grupo II: Estructuras de ocupación especial.		a. Edificaciones en donde se puedan reunir 200 personas o más en un mismo salón.
		b. Graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez.
		c. Almacenes y centros comerciales con mas de 500 m ² por piso.
		d. Hospitales, clínicas y centros de salud no cubiertas en el grupo IV.
		e. Edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas.
		f. Edificios gubernamentales.
Grupo I: De ocupación normal.		Todas las demás estructuras no cubiertas en los grupos IV, III y II.

Tabla 5.21 Definición de los grupos de tipo de uso (NSR-10, 2010).

Con la tabla anteriormente mostrada, y con las características de la edificación empleada, se determina que la misma se encuentra en la *Categoría I*.

- *Factor de Importancia.*

Con la Tabla 5.22 se establece el valor del factor de importancia.

Categoría	Regiones no propensas a huracanes, y regiones con posibilidad de huracanes de $V = 40 - 45$ m/s	Regiones con posibilidades de huracanes y $V > 45$ m/s
I	0.87	0.77
II	1.00	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

Notas:

1. Las categorías de los edificios y de las estructuras se listan en la sección A.2.5 del presente reglamento.

Tabla 5.22 Factor de Importancia (NSR-10, 2010).

Nuestro país al ubicarse en una región que no sufre de huracanes, y al ser establecida la edificación en la primera categoría de uso, se toma el valor de **0.87** como factor de importancia.

- *Categorización de rugosidad de terreno.*

En la Sección B.6.5.6.2 de la NSR-10 se muestran las distintas categorías de exposición en las edificaciones, las mismas que van desde la categoría B, pasando por la C, hasta la D; las mismas se describen en la Tabla 5.23.

Categoría	Descripción
Rugosidad de terreno B	Áreas urbanas y suburbanas, áreas boscosas u otros terrenos con muchas obstrucciones del tamaño, iguales o mayores al de una vivienda unifamiliar y con poca separación entre ellas.
Rugosidad de terreno C	Terreno abierto con pocas obstrucciones y con alturas inferiores a 9.0 m. Esta categoría incluye campos planos abiertos, praderas y todas las superficies acuáticas en zonas propensas a huracanes.
Rugosidad de terreno D	Áreas planas y no obstruidas y superficies acuáticas por fuera de regiones propensas a huracanes. Esta categoría incluye pantanos, salinas y superficies de hielo.

Tabla 5.23 Categorías de rugosidad del terreno (NSR-10, 2010).

De acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 5.23, la categoría que se ajusta al caso en estudio es **B**.

- *Categorización la exposición de la edificación.*

Además de las condiciones topográficas, las obstrucciones de las edificaciones a su alrededor ejercen una importante influencia para el cálculo de la carga de viento. En la Sección B.6.5.6.3 de la NSR-10 describe cada categoría en relación a la exposición de la edificación en estudio, las mismas se describen en la Tabla 5.24 a continuación:

Categoría	Descripción
Exposición B	Aplica cuando la rugosidad del terreno, como se define en Rugosidad de Terreno B, prevalece por una distancia de al menos 800 m o 20 veces la altura del edificio, en la dirección del viento.
Exposición C	Aplica en aquellos casos donde no se apliquen las categorías B y D.
Exposición D	Aplica cuando la rugosidad del terreno, como se define en la Rugosidad de terreno D, prevalece por una distancia mayor a 1500 m o 20 veces la altura del edificio, la que sea mayor. La categoría de exposición D se extenderá hacia las áreas viento abajo de las Rugosidades de Terreno B o C por una distancia de 200 m o 20 veces la altura de la edificación, la que sea mayor.

Tabla 5.24 Categorías de exposición (NSR-10, 2010).

De acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 5.24, y al tratarse de una zona en donde prevalecen construcciones de 2 y 3 pisos, la categoría que se ajusta este caso es **B**.

- *Coefficiente de exposición a la presión de velocidad, K_z o K_h .*

Los coeficientes de exposición a la presión de velocidad K_z se muestran en la Tabla 5.25, la misma que fue extraída de la tabla B.6.5-3 de la NSR-10. En dicha tabla, se presentan los valores K_z de acuerdo a la clasificación de exposición de la estructura.

Altura sobre el terreno Z m	Exposición, Nota 1			
	B		C	D
	Caso 1	Caso 2	Casos 1 y 2	Casos 1 y 2
0 - 45	0.7	0.57	0.85	1.03
6.0	0.7	0.62	0.90	1.08
7.5	0.7	0.66	0.94	1.12
9.0	0.7	0.70	0.98	1.16
12.0	0.76	0.76	1.04	1.22
15.0	0.81	0.81	1.09	1.27
18.0	0.85	0.85	1.13	1.31
20.0	0.89	0.89	1.17	1.34
24.5	0.93	0.93	1.21	1.38
27.5	0.96	0.96	1.24	1.40
30.5	0.99	0.99	1.26	1.43
36.5	1.04	1.04	1.36	1.52
42.5	1.09	1.09	1.36	1.52
49.0	1.13	1.13	1.39	1.55
55.0	1.17	1.17	1.43	1.58
60.0	1.20	1.20	1.46	1.61
76.0	1.28	1.28	1.53	1.68
90.0	1.35	1.35	1.59	1.73
107.0	1.41	1.41	1.64	1.78
122.0	1.47	1.47	1.69	1.82
137.0	1.52	1.52	1.73	1.86
152.0	1.56	1.56	1.77	1.89

Notas:

1. CASO 1

a. Todos los componentes y recubrimientos

b. Sistema Principal Resistente a Cargas de Viento en edificios bajos diseñados usando la Fig. B.6.5-7

CASO 2

a. Todos los Sistemas Principales Resistentes a Cargas de Viento de los edificios excepto aquellos de los edificios bajos diseñados usando la Fig. B.6.5-7

b. Todos los Sistemas Principales Resistentes a Cargas de Viento en otras estructuras.

2. El coeficiente de exposición de presión dinámica, K_z , puede ser determinado de la siguiente fórmula:

$$4.0 \text{ m} \leq Z \leq Z_g$$

$$\text{Para } Z < 4.0 \text{ m}$$

$$K_z = 2.01 \left(Z/Z_g \right)^{2/\alpha}$$

$$K_z = 2.01 \left(4.0/Z_g \right)^{2/\alpha}$$

Z no debe tomarse menos que 9.0 m para el caso 1 en exposición B

3. α y Z_g están tabulados en la Tabla B.6.5-2

4. Se acepta interpolación lineal para valores intermedios de la altura Z

5. Las categorías de exposición se definen en B.6.5-6

Tabla 5.25 Coeficiente de exposición de presión por velocidad (NSR-10, 2010).

Al tratarse de una estructura clasificada en la categoría B de exposición, y al ser una estructura que no es considerada baja (31.92 m), los valores a emplear de K_z para efectos de cálculo en el caso de estudio se muestran en la Tabla 5.26.

Altura (m)	K _z
0-4.5	0.57
-6.0	0.62
-7.5	0.66
-9.0	0.70
-12.0	0.76
-15.0	0.81
-18.0	0.85
-20.0	0.89
-24.5	0.93
-27.5	0.96
-30.5	0.99
-36.6	1.04

Tabla 5.26 Valores de K_z a distintas alturas en una edificación categoría B de exposición.

Debido a la falta del dato K_h, se realiza una interpolación entre los valores K_h a 30.5 y 36.5 metros (0.99 y 1.04 respectivamente), resultando que para una altura de 31.92 m, el valor de **K_h es de 1.009**.

- *Factor topográfico, K_{zt}.*

Para el cálculo de este factor, es imperativo el uso de la Ecuación 5.17 cumpliendo las condiciones mostradas en la Figura 5.17.

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad \text{Ecuación 5.17}$$

Donde las variables K1, K2 y K3 se obtienen de la Figura B.6.5-1 de la NSR-10.

- | |
|--|
| <p>(a) Que la colina, o escarpe esté aislada y sin obstrucciones en barlovento, por otros accidentes topográficos de altura cercana a 100 veces su altura (100H) o 3 km, la que sea menor. La distancia se debe medir horizontalmente del punto desde el cual la altura H de la loma, colina o escarpe se mide.</p> <p>(b) Que la colina, o escarpe sobresalga por encima del terreno viento arriba por un factor de 2 o más, dentro de un radio de 3 km.</p> <p>(c) Que la estructura esté localizada en la mitad superior de la colina o cerca de la cresta del escarpe, como se muestra en la fig. B.6.5-1.</p> <p>(d) Que $H/L_h \geq 0.2$.</p> <p>(e) H es mayor o igual a 4.5 m para la Exposición C y D y 18 m para la Exposición B.</p> |
|--|

Figura 5.7 Condiciones topográficas que deben cumplir las áreas en estudio considerando el aumento de velocidad del viento en colinas o escarpes (NSR-10, 2010).

De acuerdo a lo expuesto en la Sección B.6.5.7.2 de la NSR-10 (Figura 5.7), se establece un valor para este factor igual a $K_{zt}=1$.

- *Factor de efecto de ráfaga, G.*

En la Sección B.6.5.8.1 del código NSR-10 de Colombia, se indica que el valor para este factor en estructuras rígidas, es igual a **0.85**.

5.2.1.3 Presión por velocidad

Se determina el valor de la presión por velocidad q_z por medio de la Ecuación 5.18, para cualquier altura z .

$$q_z = 0.613K_zK_{zt}K_dV^2I \text{ en (N/m}^2\text{); } V \text{ en m/s} \quad \text{Ecuación 5.18}$$

En donde K_d es el factor de dirección de viento, K_z es el coeficiente de exposición de presión por velocidad, K_{zt} es el factor topográfico, V es el valor de la velocidad básica de viento (valor establecido en el primer punto) e I es el factor de importancia. El valor de presión q_h es calculado mediante la Ecuación 5.18 a una altura h (altura media de la cubierta). Al contar con todos los valores que se solicitan en la Ecuación 5.18, únicamente se debe realizar el cálculo respectivo mediante reemplazo de las variables. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 5.27.

Altura (m)	q_z (N/m ²)
0-4.5	134.674
6.0	146.488
7.5	155.939
9.0	165.390
12.0	179.566
15.0	191.380
18.0	200.830
20.0	210.281
24.5	219.732
27.5	226.820
30.5	233.908
31.92	236.484

Tabla 5.27 Valores de q_z a diferentes alturas.

Conociendo el valor de h (31.92 m), el valor resultante para q_h es 236.484 N/m^2 .

5.2.1.4 Coeficiente de presión interna, GC_{pi} .

En la Sección B.6.511.1 de la NSR-10, se muestra la Tabla 5.28, la misma que contiene los valores de GC_{pi} de las estructuras de acuerdo a su clasificación de “cerramiento”.

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

Notas:

- Los signos positivos y negativos significan presiones y succiones actuando sobre las superficies internas, respectivamente.
- Los valores de GC_{pi} deberán ser utilizados con q_z y q_h según se especifica en B.6.5.12.
- se deberían considerar dos casos para determinar los requerimientos de la carga crítica para la condición apropiada:
 - Un valor positivo de GC_{pi} aplicado sobre todas las superficies internas.
 - Un valor negativo de GC_{pi} aplicado sobre todas las superficies internas.

Tabla 5.28 Coeficientes de Presión Interna (GC_{pi}), para edificaciones cerradas, parcialmente cerradas o abiertas (NSR-10, 2010).

Para el ejemplo, al tratarse de una edificación cerrada, se toman los valores GC_{pi} de **+0.18 y -0.18**.

- *Factor de reducción R_i .*

De acuerdo a las condiciones del edificio en cuestión (edificio de gran volumen), el coeficiente de presión interna debe ser multiplicado por un factor de reducción R_i . El mismo se calcula de acuerdo a la Ecuación 5.19 mostrada a continuación:

$$R_i = 1.0 \text{ o } R_i = 0.5 \left(1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{V_i}{11000A_{og}}}} \right) \leq 1.0$$

Ecuación 5.19

Siendo,

A_{og} , área total de aberturas en el perímetro del edificio.

V_i , volumen interno de la edificación.

$A_{og}=14m^2(\text{abertura por piso}) \times 12 (\text{No. de pisos}) = 168 m^2$

$V_i=31.92m \times 24m \times 18m = 13789.44m^3$

$$R_i = 0.5 \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{13789.44}{11000(168)}}} \right] = 0.9981$$

$$+GC_{pi} = 0.18 \cdot 0.9981 = 0.1797$$

$$-GC_{pi} = -0.18 \cdot 0.9981 = -0.1797$$

5.2.1.5 Determinación del coeficiente de presión externa, C_p o C_N .

Para ello, en la figura B.6.5-3 de la NSR-10 se extrae el valor de C_p correspondiente tanto para paredes como a techos (Tabla 5.29).

Coeficientes de Presión en Muros, C_p

Superficie	L/B	C_p	Usar con
Muro en barlovento	Todos los valores	0.8	q_2
Muro en sotavento	0-1	-0.5	q_h
	2	-0.3	
	>4	-0.2	
Muros laterales	Todos los valores	-0.7	q_h

Coeficientes de Presión en Cubiertas, C_p , para usar con q_h

Dirección del viento	Barlovento								Sotavento			
	Ángulo θ en grados									Ángulo θ en grados		
	h/L	10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60^\circ$	10	15	≥ 20
Normal a la cumbrera para $\theta > 10^\circ$	≤ 0.25	-0.70	-0.50	-0.30	-0.20	-0.20	0.0*	0.40	0.01	-0.30	-0.50	-0.60
		-0.18	0.0*	0.20	0.30	-0.30	0.40		θ			
	0.50	-0.90	-0.70	-0.40	-0.30	-0.20	-0.20	0.0*	0.01	-0.50	-0.50	-0.60
		-0.18	-0.18	0.0*	0.20	0.20	0.30	0.40	θ			
	≥ 1.0	-1.3**	-1.00	-0.70	-0.50	-0.30	-0.20	0.0*	0.01	-0.70	-0.60	-0.60
		-0.18	-0.18	-0.18	0.0*	0.20	0.20	0.30	θ			
Normal a la cumbrera para $\theta < 10^\circ$ y paralela a la cumbrera para todo θ	≤ 0.5	Distancia horizontal desde el borde de barlovento					C_p		*Valor dado para fines de interpolación			
		0 a $h/2$					-0.9, -0.18		**Valor que puede reducirse linealmente con el área sobre la cual es aplicable como sigue:			
		$h/2$ a h					-0.9, -0.18					
		h a $2h$					-0.5, -0.18					
	$> 2h$					0.3, 0.18						
	≥ 1.0	0 a $h/2$					-1.3**, -0.18		Área (m^2)	Factor de Reducción		
$> h/2$					-0.7, -0.18		<10	1				
							20	0.9				
$> h/2$					-0.7, -0.18		>100	0.8				

Tabla 5.29 Coeficientes de presión externa, C_p (NSR-10, 2010).

Los valores a utilizar en los cálculos para nuestro caso serán los siguientes:

- Paredes.- Barlovento: 0.8, Sotavento: -0.5 (con q_h), Laterales: -0.7 (con q_h).
- Cubierta: -0.9 y -0.18.

5.2.1.6 Cálculo de la presión del viento, p , en cada superficie.

Partiendo del hecho de que nuestro caso trata de una edificación rígida, para el cálculo de esta presión vamos a emplear la Ecuación 5.20, la misma que en la Sección 27.4 del ASCE7-10 es presentada para el cálculo de la presión de viento en edificaciones rígidas.

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \text{ (N/m}^2\text{)} \quad \text{Ecuación 5.20}$$

El cálculo de p se realiza en todas las superficies y a distintas alturas de la edificación. Los resultados para barlovento se presentan en la Tabla 5.30 a continuación.

Altura (m)	q_z (N/m ²)	p (N/m ²)	
		Barlovento (+ $GC_{pi}=0.1797$)	Barlovento (- $GC_{pi}=-0.1797$)
0-4.5	134.674	67.378	115.780
6.0	146.488	73.288	125.936
7.5	155.939	78.016	134.061
9.0	165.390	82.744	142.186
12.0	179.566	89.837	154.373
15.0	191.380	95.747	164.529
18.0	200.830	100.475	172.654
20.0	210.281	105.204	180.779
24.5	219.732	109.932	188.904
27.5	226.820	113.478	194.997
30.5	233.908	117.024	201.091
31.92	236.484	118.313	203.305

Tabla 5.30 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.

Para las paredes laterales, en sotavento y la cubierta se utiliza únicamente el valor de q_h para el cálculo de la presión de viento. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Paredes laterales, $c_p=-0.7$:

$$+GC_{pi} \ p=(236.484*0.85*-0.7)-(236.484*0.1797)= -183.228 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \ p=(236.484*0.85*-0.7)-(236.484*-0.1797)= -98.188 \text{ N/m}^2$$

Sotavento, $c_p=-0.5$:

$$+GC_{pi} \ p=(236.484*0.85*-0.5)-(236.484*0.1797)= -143.025 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \ p=(236.484*0.85*-0.5)-(236.484*-0.1797)= -57.986 \text{ N/m}^2$$

Cubierta, $c_p=-0.9$ y $c_p=-0.18$:

$$+GC_{pi} \ p=(236.484*0.85*-0.9)-(236.484*0.1797)= -223.430 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \ p=(236.484*0.85*-0.9)-(236.484*-0.1797)= -138.390 \text{ N/m}^2$$

$$+GC_{pi} \ p=(236.484*0.85*-0.18)-(236.484*0.1797)= -78.702 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \ p=(236.484*0.85*-0.18)-(236.484*-0.1797)= +6.338 \text{ N/m}^2$$

Los valores seleccionados son aquellos que representan el menor número para cada caso. Los resultados finales se presentan en la Tabla 5.31, y gráficamente en las figuras 5.8 y 5.9.

Superficie	Altura (m)	Presión de viento [N/m ²]
Pared a Barlovento	0-4.5	67.378
	6.0	73.288
	7.5	78.016
	9.0	82.744
	12.0	89.837
	15.0	95.747
	18.0	100.475
	20.0	105.204
	24.5	109.932
	27.5	113.478
	30.5	117.024
31.92	118.313	
Pared a Sotavento	-	-143.025
Paredes laterales	-	-183.228
Cubierta (a barlovento y sotavento)	-	-223.430

Tabla 5.31 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.

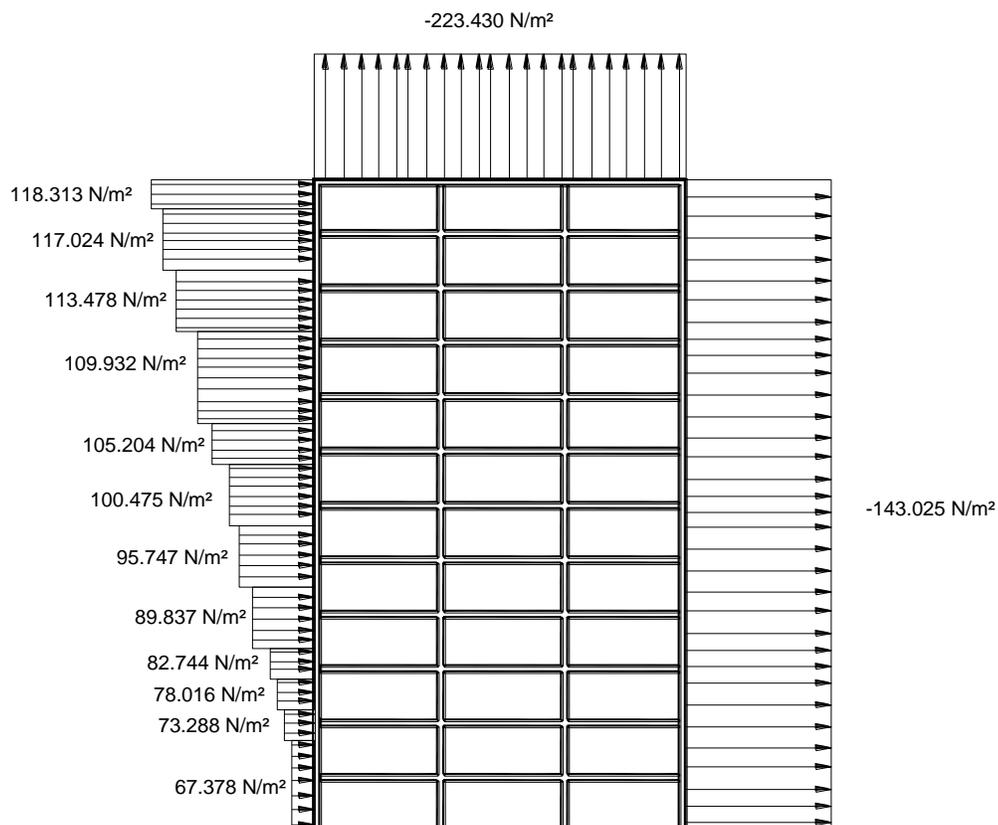


Figura 5.8 Carga distribuida de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.); vista lateral.

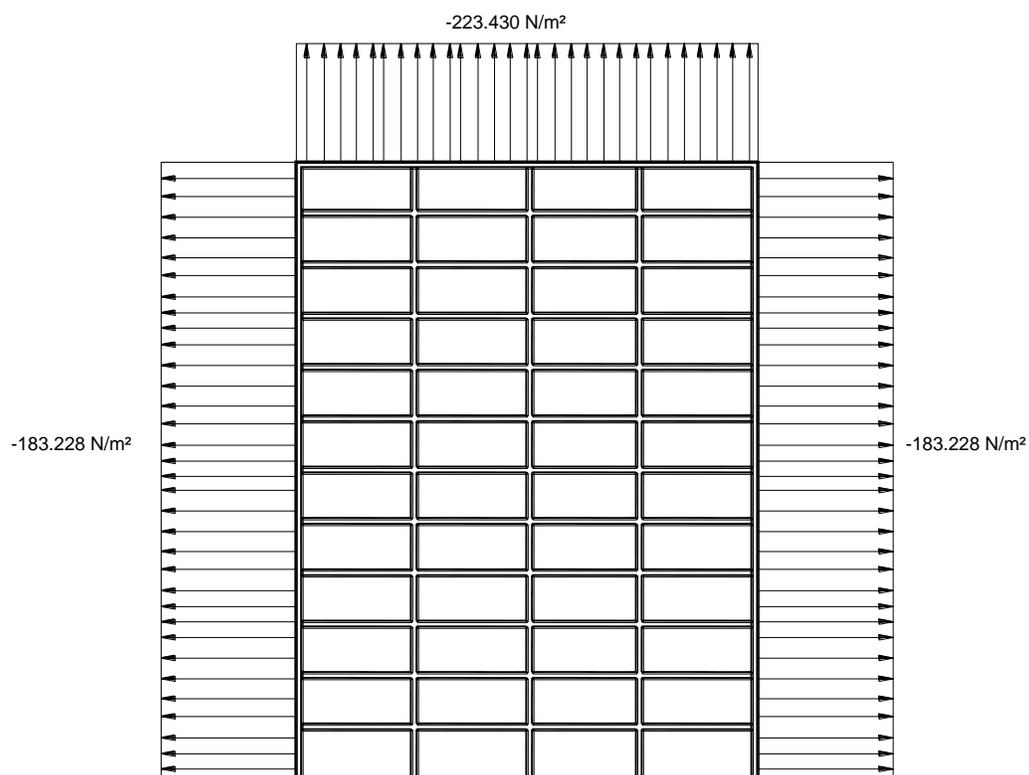


Figura 5.9 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. & der) y cubierta (sup); vista frontal.

5.2.2 Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador.

5.2.2.1 Determinación de la velocidad de viento básica.

En el capítulo B.6 de la NSR-10, para determinar la velocidad básica del viento se emplea un mapa con zonas de amenaza eólica del territorio colombiano (NSR-10, 2010), sin proporcionar información que precise la forma en que los datos allí mostrados se obtuvieron. Debido a la similitud entre los procesos mostrados en los códigos NSR-10 y ASCE7-10, se tomará el mismo parámetro para la toma de la velocidad básica de viento mostrada en este último. De esta manera, se toma como velocidad básica de viento para la zona céntrica de Guayaquil **18.009 m/s** considerando que la edificación se encuentra en la primera categoría de riesgo.

5.2.2.2 Determinación de parámetros en la carga de viento.

- *Factor de direccionalidad del viento K_d .*

Para ello, se emplea la Tabla 5.20 en la que se muestra los valores de los factores de direccionalidad del viento.

Al tratarse de un edificio en este caso, el valor para el factor de direccionalidad es **0.85**.

- Determinación de la categoría de uso de la edificación.

De acuerdo a lo que se solicita en este punto, se recurre a la Sección A.2.5.1 (Tabla 5.21) de la NSR-10 (NSR-10, 2010).

De acuerdo a las características de la edificación empleada, se establece que la misma se encuentra en la *Categoría I*.

- *Factor de Importancia.*

Nuestro país al ubicarse en una región que no sufre de huracanes, y al ser establecida la edificación en la primera categoría de uso, se toma el valor de **0.87** como factor de importancia a partir de lo expuesto en la Tabla 5.22.

- Categorización de rugosidad de terreno.

En la Sección B.6.5.6.2 de la NSR-10 se muestran las distintas categorías de rugosidad del terreno (Tabla 5.23). La categoría que se ajusta al caso en estudio es **B**.

- Categorización la exposición de la edificación.

Además de las condiciones topográficas, las obstrucciones de las edificaciones a su alrededor ejercen una importante influencia para el cálculo de la carga de viento. En la Sección B.6.5.6.3 de la NSR-10 describe cada categoría en relación a la exposición de la edificación en estudio (Tabla 5.24). Al tratarse de una zona en donde prevalecen construcciones de 2 y 3 pisos, la categoría que se ajusta este caso es **B**.

- Coeficiente de exposición a la presión de velocidad, K_z o K_h .

Los coeficientes de exposición a la presión de velocidad K_z se muestran en la Tabla 5.25, la misma que fue extraída de la tabla B.6.5-3 de la NSR-10. En dicha tabla, se presentan los valores K_z de acuerdo a la clasificación de exposición de la estructura. Al tratarse de una estructura clasificada en la categoría B de exposición, y que no es

considerada pequeña (31.92 m), los valores a emplear de K_z para efectos de cálculo en el caso de estudio se muestran en la Tabla 5.32.

Altura (m)	K_z
0-4.5	0.57
-6.0	0.62
-7.5	0.66
-9.0	0.70
-12.0	0.76
-15.0	0.81
-18.0	0.85
-20.0	0.89
-24.5	0.93
-27.5	0.96
-30.5	0.99
-36.6	1.04

Tabla 5.32 Valores de K_z a distintas alturas en la edificación categoría B de exposición.

Debido a la falta del dato K_h , se realiza una interpolación entre los valores K_h a 30.5 y 36.5 metros (0.99 y 1.04 respectivamente), resultando que para una altura de 31.92 m, el valor de K_h es de **1.0009**.

- *Factor topográfico, K_{zt} .*

De acuerdo a lo expuesto en la Sección B.6.5.7.2 de la NSR-10 (Figura 5.7), se establece un valor para este factor igual a **$K_{zt}=1$** , ya que no cumple con todas las condiciones mostradas en aquella sección.

- *Factor de efecto de ráfaga, G .*

En la Sección B.6.5.8.1 del código NSR-10 de Colombia, se indica que el valor para este factor en estructuras rígidas, es igual a **0.85**.

5.2.2.3 Presión por velocidad

Se determina el valor de la presión por velocidad q_z por medio de la Ecuación 5.1, para cualquier altura z .

El valor de presión q_h es calculado mediante la Ecuación 5.1 a una altura h (altura media de la cubierta). Al contar con todos los valores que se solicitan en la Ecuación 5.1, únicamente se debe realizar el cálculo respectivo mediante reemplazo de las variables. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 5.33.

Altura (m)	q_z (N/m ²)
0-4.6	83.802
-6.1	91.153
-7.6	97.034
-9.1	102.914
-12.2	111.736
-15.2	119.087
-18	124.967
-21.3	130.848
-24.4	136.729
-27.4	141.140
-30.5	145.550
-31.92	147.153

Tabla 5.33 Valores de q_z a diferentes alturas.

Conociendo el valor de h (31.92 m), el valor resultante para q_h es 147.153 N/m^2 .

5.2.2.4 Coeficiente de presión interna, GC_{pi} .

En la Sección B.6.511.1 de la NSR-10, se muestra la Tabla 5.28, la misma que contiene los valores de GC_{pi} de las estructuras de acuerdo a su clasificación de "cerramiento". Para la edificación en cuestión, al tratarse de una cerrada, se toman los valores GC_{pi} de **+0.18 y -0.18**.

- *Factor de reducción Ri.*

De acuerdo a las condiciones del edificio en cuestión (edificio de gran volumen), el coeficiente de presión interna debe ser multiplicado por un factor de reducción Ri (NSR-10, 2010).

$$A_{og}=14m^2(\text{abertura por piso}) \times 12 (\text{No. de pisos}) = 168 m^2$$

$$V_i=31.92m \times 24m \times 18m = 13789.44m^3$$

$$R_i = 0.5 \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{13789.44}{11000(168)}}} \right] = 0.9981$$

$$+GC_{pi} = 0.18 \times 0.9981 = 0.1797$$

$$-GC_{pi} = -0.18 \times 0.9981 = -0.1797$$

5.2.2.5 Determinación del coeficiente de presión externa, C_p o C_n .

Para ello, en la figura B.6.5-3 de la NSR-10 se extrae el valor de C_p correspondiente tanto para paredes como a techos (Tabla 5.29). Los valores a utilizar en los cálculos para nuestro caso serán los siguientes:

Paredes.- Barlovento: 0.8; Sotavento: -0.5 (con q_h), Laterales: -0.7 (con q_h).

Cubierta: -0.9 y -0.18.

5.2.2.6 Cálculo de la presión del viento, p , en cada superficie.

Partiendo del hecho de que nuestro caso trata de una edificación rígida, para el cálculo de esta presión vamos a emplear la Ecuación 5.3, la misma que en la Sección B.6.5.12.1 de la NSR-10 es presentada para el cálculo de la presión de viento en edificaciones rígidas.

El cálculo de p se realiza en todas las superficies y a distintas alturas de la edificación. Los resultados para barlovento se presentan en la Tabla 5.34 a continuación.

Altura (m)	q_z (N/m ²)	p (N/m ²)	
		Barlovento (+GC _{pi} =0.1797)	Barlovento (-GC _{pi} =-0.1797)
0-4.6	83.802	41.926	72.044
6.1	91.153	45.604	78.364
7.6	97.034	48.546	83.420
9.1	102.914	51.488	88.475
12.2	111.736	55.901	96.059
15.2	119.087	59.579	102.379
18	124.967	62.521	107.434
21.3	130.848	65.463	112.490
24.4	136.729	68.406	117.546
27.4	141.140	70.612	121.338
30.5	145.550	72.819	125.130
31.92	147.153	73.621	126.507

Tabla 5.34 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.

Para las paredes laterales, en sotavento y la cubierta se utiliza únicamente el valor de q_h para el cálculo de la presión de viento. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Paredes laterales, $c_p=-0.7$:

$$+GC_{pi} \quad p=(147.153*0.85*-0.7)-(147.153*0.1797)= -113.999 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \quad p=(147.153*0.85*-0.7)-(147.153*-0.1797)= -61.113 \text{ N/m}^2$$

Sotavento, $c_p=-0.5$:

$$+GC_{pi} \quad p=(147.153*0.85*-0.5)-(147.153*0.1797)= -88.983 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} \quad p=(147.153*0.85*-0.5)-(147.153*-0.1797)= -36.097 \text{ N/m}^2$$

Cubierta, $c_p=-0.9$ y $c_p=-0.18$:

$$+GC_{pi} \quad p=(147.153*0.85*-0.9)-(147.153*0.1797)= -139.015 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p=(147.153*0.85*-0.9)-(147.153*-0.1797)= -86.129 \text{ N/m}^2$$

$$+GC_{pi} p=(147.153*0.85*-0.18)-(147.153*0.1797)= -48.958 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p=(147.153*0.85*-0.18)-(147.153*-0.1797)= +3.929 \text{ N/m}^2$$

Los valores seleccionados son aquellos que representan el menor valor para cada caso. Los resultados finales se presentan en la Tabla 5.35, y gráficamente en las Figuras 5.10 y 5.11.

Superficie	Altura (m)	Presión de viento [N/m ²]
Pared a Barlovento	0-4.5	41.926
	6.0	45.604
	7.5	48.546
	9.0	51.488
	12.0	55.901
	15.0	59.579
	18.0	62.521
	20.0	65.463
	24.5	68.406
	27.5	70.612
	30.5	72.819
	31.92	73.621
Pared a Sotavento	-	-88.983
Paredes laterales	-	-113.999
Cubierta (a barlovento y sotavento)	-	-139.015

Tabla 5.35 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.

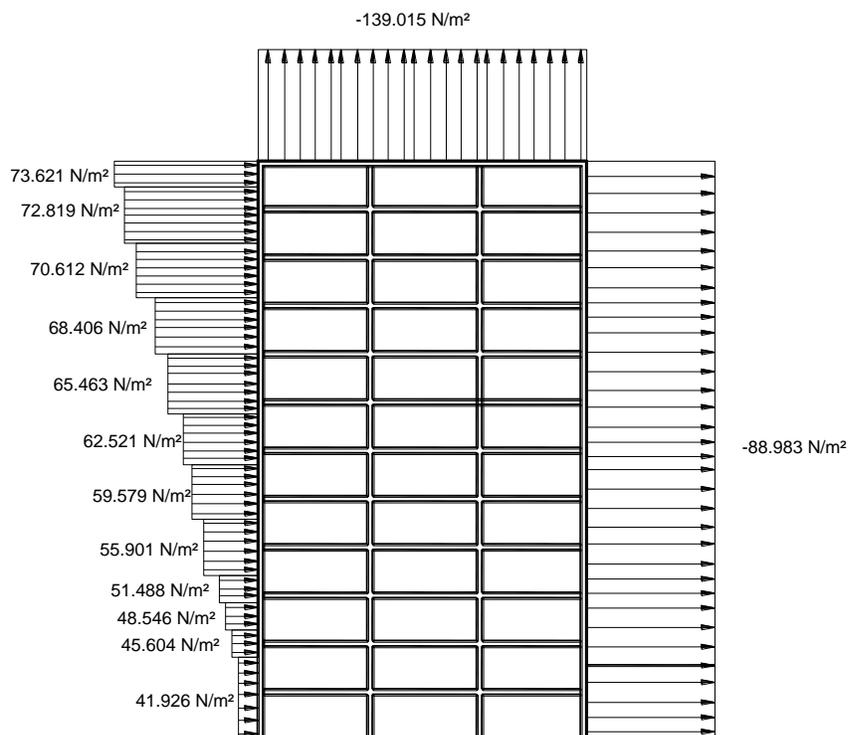


Figura 5.10 Cargas distribuidas de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.), vista lateral.

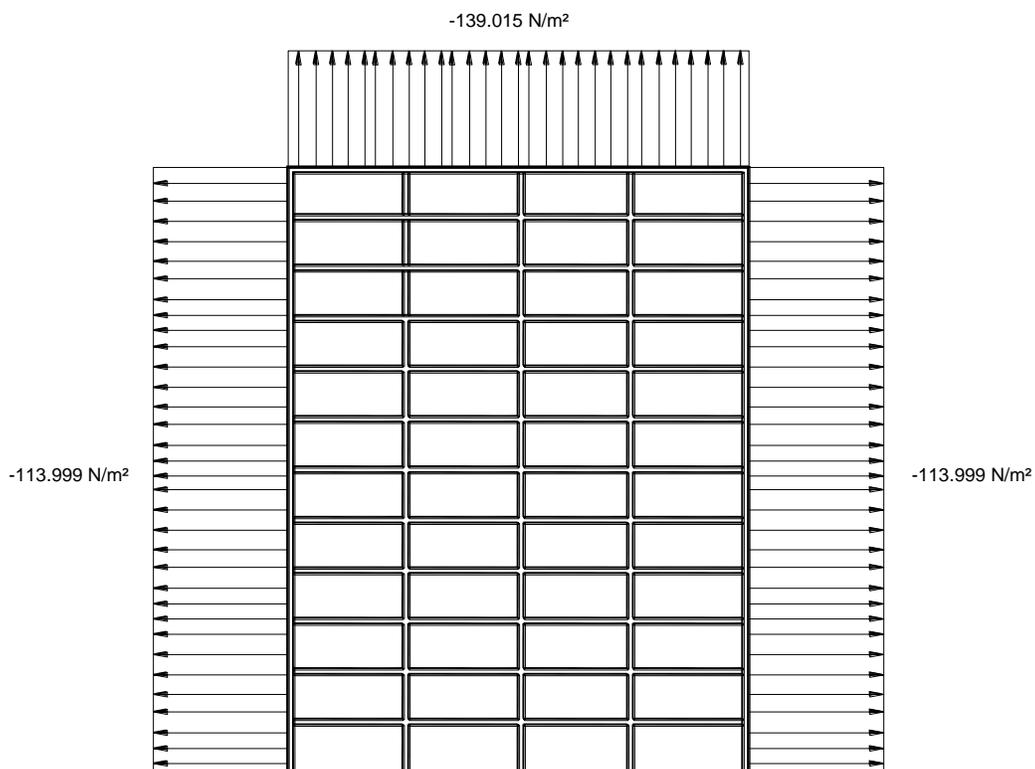


Figura 5.11 Cargas distribuidas de viento en paredes laterales (izq. & der) y cubierta (sup.); vista frontal.

5.2.3 Segundo edificio de estudio: SwissTowers.

5.2.3.1 Determinación de la velocidad de viento básica.

Al igual que en las dos Secciones anteriores (4.2.1 y 4.2.2), ante la falta de información para la obtención de una velocidad de viento para aplicarla en esta norma, sin embargo, ante la similitud entre los procesos mostrados en los códigos NSR-10 y ASCE7-10, se tomará el mismo parámetro para la toma de la velocidad básica de viento mostrada en este último. De esta manera, se toma como velocidad básica de viento para la zona céntrica de Guayaquil **18.663 m/s** considerando que la edificación se encuentra en la segunda categoría de riesgo, tanto bajo las condiciones de la NSR-10 como la ASCE7-10.

5.2.3.2 Determinación de parámetros en la carga de viento.

- *Factor de direccionalidad del viento K_d .*

Para ello se emplea la Tabla 5.20, en la que se muestra los valores de los factores de direccionalidad del viento. Al tratarse de un edificio en este caso, el valor para el factor de direccionalidad es **0.85**.

- *Determinación de la categoría de uso de la edificación.*

De acuerdo a lo que se solicita en este punto, se recurre a la Sección A.2.5.1 (Tabla 5.21) de la NSR-10 (NSR-10, 2010).

De acuerdo a las características de las Swiss Towers, se establece que las mismas se encuentran en la *Categoría II*.

- Factor de Importancia.

Nuestro país al ubicarse en una región que no sufre de huracanes, y al ser establecida la edificación en la segunda categoría de uso, se toma el valor de **1.00** como factor de importancia a partir de lo expuesto en la Tabla 5.22.

- *Categorización de rugosidad de terreno.*

En la Sección B.6.5.6.2 de la NSR-10 se muestran las distintas categorías de rugosidad del terreno (Tabla 5.23). La categoría que se ajusta al caso en estudio es **B**.

- *Categorización la exposición de la edificación.*

Además de las condiciones topográficas, las obstrucciones de las edificaciones a su alrededor ejercen una importante influencia para el cálculo de la carga de viento. En la Sección B.6.5.6.3 de la NSR-10 describe cada categoría en relación a la exposición de la edificación en estudio (Tabla 5.24). Al tratarse de una zona en donde prevalecen construcciones mayores a 2 pisos, la categoría que se ajusta este caso es **B**.

- Coeficiente de exposición a la presión de velocidad, K_z o K_h .

Los coeficientes de exposición a la presión de velocidad K_z se muestran en la Tabla 5.25, la misma que fue extraída de la tabla B.6.5-3 de la NSR-10. En dicha tabla, se presentan los valores K_z de acuerdo a la clasificación de exposición de la estructura. Al tratarse de una estructura clasificada en la categoría B de exposición, y que no es

considerada pequeña (190 m), los valores a emplear de K_z para efectos de cálculo en el caso de estudio se muestran en la Tabla 5.36.

Altura (m)	K_z	Altura (m)	K_z
0-4.5	0.57	36.5	1.04
6	0.62	42.5	1.09
7.5	0.66	49	1.13
9	0.70	55	1.17
12	0.76	60	1.20
15	0.81	76	1.28
18	0.85	90	1.35
20	0.89	107	1.41
24.5	0.93	122	1.47
27.5	0.96	137	1.52
30.5	0.99	152	1.56

Tabla 5.36 Valores de K_z a distintas alturas en la edificación categoría B de exposición.

Debido a que el valor de K_z en la Tabla 5.25 se proporciona para estructuras de hasta 152 metros, se recurre a la Ecuación 5.21 para hallar los valores de K_z a alturas superiores hasta llegar a los 190 metros de la edificación en estudio. Los resultados se muestran en la Tabla 5.37.

$$K_z = 2.01 \left(Z/Z_g \right)^{2/\alpha} \quad \text{Ecuación 5.21}$$

De donde z_g (365.8 m) y α (7) se extraen de la tabla en la Tabla 5.38.

Altura (m)	K_z
155	1.57
160	1.59
165	1.60
170	1.61
175	1.63
180	1.64
185	1.65
190	1.67

Tabla 5.37 Valores de K_z para alturas mayores a 152 metros.

El dato de K_h para este caso, es igual al de K_z para una altura de 190 m, ya que al poseer una cubierta horizontal, la altura media de la misma es igual a la altura total de la edificación. Por lo tanto, **$K_h=1.67$** .

- *Factor topográfico, K_{zt} .*

De acuerdo a lo expuesto en la Sección B.6.5.7.2 de la NSR-10 (Figura 5.7), se establece un valor para este factor igual a **$K_{zt}=1$** , ya que no cumple con todas las condiciones mostradas.

- *Factor de efecto de ráfaga, G_f .*

En la Sección B.6.5.8.2 del código ASCE7 se indica que el valor de este factor se debe hallar a partir de la Ecuación 5.4, la misma que se emplea en aquellas estructuras flexibles. A partir de las ecuaciones 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 y 5.12, al igual que en el código de la ASCE7-10 mostrado en la sección anterior, se hallan las variables necesarias para el cálculo de este factor.

Los valores de g_Q y g_V deben ser tomados como 3.4.

El valor de n_1 se obtiene de la obtención de la frecuencia natural de la estructura. El subíndice ℓ en la Ecuación 5.9 deberá ser reemplazado con h, B y L en cada caso, según se muestra en la Sección B.6.5.8.2 de la NSR-10 debe considerarse lo siguiente:

$$R_\ell = R_h \text{ setting } \eta = 4.6n_1h/\bar{V}_z$$

$$R_\ell = R_B \text{ setting } \eta = 4.6n_1B/\bar{V}_z$$

$$R_\ell = R_L \text{ setting } \eta = 15.4n_1L/\bar{V}_z$$

Siendo β el coeficiente de amortiguamiento (0.05), \bar{V}_z es la velocidad media horaria (m/s) a una altura z (m); que se halla aplicando la Ecuación 5.11, B es 34.26 m, L es 34.20 m y h es 190 m. V es la velocidad básica del viento (m/s).

Las constantes \bar{b} y $\bar{\alpha}$ son mostradas en la Tabla 5.38.

Exposición	α	Z_g (m)	\hat{a}	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	ℓ (m)	$\bar{\epsilon}$	Z_{\min}^* (m)
B	7.0	365.8	1/7.0	0.84	1/4.0	0.45	0.30	97.5	1/3	9.0
C	9.5	274.3	1/9.5	1.00	1/6.5	0.65	0.20	152.4	1/5	4.5
D	11.5	213.4	1/11.5	1.07	1/9.0	0.80	0.15	198.1	1/8	2.0

* Z_{\min} mínima altura usada para asegurar que la altura equivalente Z es mayor de 0.6 h o Z_{\min}
 Para edificios con $h \leq Z_{\min}$, Z debe tomarse como Z_{\min}

Tabla 5.38 Constantes de exposición del terreno (NSR-10, 2010).

Las constantes \bar{b} y $\bar{\alpha}$ tienen un valor de 0.45 y 0.25 respectivamente, de acuerdo a la Tabla 5.38 para un edificio ubicado en una zona donde la exposición corresponde a la categoría B.

Empleando la siguiente secuencia, se hallan los valores para las variables necesarias en el cálculo del factor de ráfaga:

- Se calcula el valor de L_z , empleando la Ecuación 5.12. Los valores de ℓ y $\bar{\epsilon}$ son determinados por medio de la Tabla 5.38, los mismos que resultan ser 97.5 m y 1/3, respectivamente. Cabe recalcar, que el valor de \bar{z} es definido en la Sección B.6.5.8.1 de la NSR-10, como la "altura equivalente de la estructura" $0.6h$ (h : altura del edificio), la misma no puede ser menor a Z_{\min} mostrado en la Tabla 5.38. Los valores de B y h son 34.26 y 190 metros respectivamente.

$$L_{\bar{z}} = 97.5 \left(\frac{114}{10} \right)^{1/3} = 219.435$$

Por lo tanto, el valor de Q es posible calcular mediante el uso de la Ecuación 5.13.

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.62 \left(\frac{34.26 + 190}{219.435} \right)^{0.63}}} = 0.784$$

- b. Para el siguiente paso, es necesario conocer el periodo de vibración de la estructura (T), el mismo que es de 6 segundos (Romo, 2015). Con este dato, es posible conocer el valor de la frecuencia natural del sistema n_1 (Ecuación 5.14).

$$n_1 = \frac{2\pi}{6} = 1.047 \text{ rad/s}$$

- c. Conocido el resultado en la parte *b*, con la Ecuación 5.5 se obtiene como resultado de g_R lo siguiente:

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3600(1.047))} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3600(1.047))}} = 4.20$$

- d. El valor de I_z , con la Ecuación 5.10, se determina conociendo los valores de c (0.3, establecido con la Tabla 5.38) y \bar{z} (114 m).

$$I_{\bar{z}} = 0.3 \left(\frac{10}{114} \right)^{1/6} = 0.19997$$

- e. A continuación, se calcula la media horaria de la velocidad del viento. Conociendo que V es 19 m/s, \bar{z} es 114 m, \bar{b} es 0.45 y \bar{a} es 0.25; se obtiene:

$$\bar{V}_{\bar{z}} = \left[0.45 \left(\frac{114}{10} \right)^{0.25} \right] * 19 = 15.71 \text{ m/s}$$

f. A continuación, se establece el valor de N_1 (Ecuación 5.8).

$$N_1 = \frac{1.047 * 219.435}{15.71} = 14.62$$

g. Posteriormente, con N_1 calculado se emplea la Ecuación 5.7 para encontrar el valor de R_n .

$$R_n = \frac{7.47 * 14.62}{(1 + (10.3 * 14.62))^{5/3}} = 0.0253$$

h. En este punto, se calcula en conjunto los valores de R_h , R_B y R_L , ya que las mismas se derivan de una misma fórmula (Ecuación 5.9).

$$\eta_h = 4.6 * 1.047 * \frac{190}{15.71} = 58.25$$

$$R_h = \frac{1}{58.25} - \frac{1}{2(58.25)^2} (1 - e^{-2(58.25)}) = 0.017$$

$$\eta_B = 4.6 * 1.047 * \frac{34.26}{15.71} = 10.50$$

$$R_B = \frac{1}{10.50} - \frac{1}{2(10.50)^2} (1 - e^{-2(10.50)}) = 0.0907$$

$$\eta_L = 15.4 * 1.047 * \frac{34.20}{15.71} = 35.10$$

$$R_B = \frac{1}{35.10} - \frac{1}{2(35.10)^2} (1 - e^{-2(35.10)}) = 0.0281$$

i. Con ayuda de los resultados en los apartados *g* y *h*, se emplea la Ecuación 5.6 para hallar el resultado de R .

$$R = \sqrt{\frac{1}{0.05} * 0.0253 * 0.017 * 0.0907 * (0.53 + (0.47 * 0.0298))} = 0.0206$$

j. Finalmente, el factor de efecto ráfaga se obtiene utilizando la Ecuación 5.4.

$$G_f = 0.925 \left[\frac{1 + 1.7(0.19997) \sqrt{(3.4^2 * 0.784^2) + (3.4^2 * 0.0206^2)}}{1 + 1.7(3.4 * 0.19997)} \right] = 0.8843$$

5.2.3.3 Presión por velocidad, q_z .

Se determina el valor de la presión por velocidad q_z por medio de la Ecuación 5.18, para cualquier altura z . Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 5.39.

Altura (m)	q_z (N/m ²)	Altura (m)	q_z (N/m ²)
0-4.5	103.447	60	217.783
6	112.521	76	232.302
7.5	119.781	90	245.006
9	127.040	107	255.895
12	137.929	122	266.784
15	147.003	137	275.858
18	154.263	152	283.118
20	161.522	155	285.425
24.5	168.782	160	288.026
27.5	174.226	165	290.569
30.5	179.671	170	293.058
36.5	188.745	175	295.496
42.5	197.819	180	297.884
49	205.079	185	300.225
55	212.338	190	302.521

Tabla 5.39 Valores de q_z a diferentes alturas.

Conociendo el valor de h (190 m), el valor resultante para q_h es 302.521 N/m².

5.2.3.4 Coeficiente de presión interna, GC_{pi} .

En la Sección B.6.511.1 de la NSR-10, se muestra la Tabla 5.28 la misma que contiene los valores de GC_{pi} de las estructuras de acuerdo a su clasificación de “cerramiento”. Para la edificación en cuestión, al tratarse de una cerrada, se toman los valores GC_{pi} de **+0.18 y -0.18**.

- *Factor de reducción Ri.*

De acuerdo a las condiciones del edificio en estudio (edificio de gran volumen), el coeficiente de presión interna debe ser multiplicado por un factor de reducción Ri. El mismo se calcula con la Ecuación 5.19 $K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2$ Ecuación 5.17.

Se toma como ancho de la puerta de ingreso 5.40 m, de acuerdo a la Ordenanza 3457 del Distrito Metropolitano de Quito (Concejo Metropolitano de Quito, 2003).

A_{og} = área aberturas en pared a barlovento = puerta de ingreso = $5.4 * 2.5 = 13.5 \text{ m}^2$

$V_i = 190 \text{ m} \times 34.20 \text{ m} \times 34.26 \text{ m} = 222621.48 \text{ m}^3$

$$R_i = 0.5 \left[1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{222621.48}{11000(13.5)}}} \right] = 0.8163$$

$+GC_{pi} = 0.18 * 0.8163 = 0.1469$

$-GC_{pi} = -0.18 * 0.8809 = -0.1469$

5.2.3.5 Determinación del coeficiente de presión externa, C_p o C_N .

Para ello, en la figura B.6.5-3 de la NSR-10 se extrae el valor de C_p correspondiente tanto para paredes como a techos (Tabla 5.29). Los valores a utilizar en los cálculos para nuestro caso serán los siguientes:

- Paredes.- Barlovento: 0.8; Sotavento: -0.5 (con q_h), Laterales: -0.7 (con q_h).
- Cubierta: -0.9 y -0.18.

5.2.3.6 Cálculo de la presión del viento, p , en cada superficie.

Partiendo del hecho de que nuestro caso trata de una edificación flexible, para el cálculo de esta presión vamos a emplear la Ecuación 5.22, la misma que en la

Sección B.6.5.12.1 de la NSR-10 es presentada para el cálculo de la presión de viento en edificaciones flexibles.

$$p = qG_f C_p - q_i (GC_{pi}) \text{ en (N/m}^2\text{)}$$

Ecuación 5.22

El cálculo de p se realiza en todas las superficies y a distintas alturas de la edificación. Los resultados para barlovento se presentan en la Tabla 5.40 a continuación.

Altura (m)	Qz (N/m2)	p (N/m2)	
		Barlovento (+GC _{pi} =0.1469)	Barlovento (-GC _{pi} =-0.1469)
0-4.5	103.447	57.986	88.379
6	112.521	63.073	96.131
7.5	119.781	67.142	102.333
9	127.040	71.211	108.535
12	137.929	77.315	117.838
15	147.003	82.401	125.591
18	154.263	86.470	131.793
20	161.522	90.540	137.995
24.5	168.782	94.609	144.197
27.5	174.226	97.661	148.848
30.5	179.671	100.713	153.500
36.5	188.745	105.799	161.252
42.5	197.819	110.886	169.005
49	205.079	114.955	175.207
55	212.338	119.024	181.409
60	217.783	122.076	186.061
76	232.302	130.214	198.465
90	245.006	137.335	209.318
107	255.895	143.439	218.621
122	266.784	149.543	227.924
137	275.858	154.630	235.677
152	283.118	158.699	241.879
155	285.425	159.992	243.850
160	288.026	161.450	246.072
165	290.569	162.876	248.245
170	293.058	164.271	250.371
175	295.496	165.637	252.454
180	297.884	166.976	254.494

185	300.225	168.288	256.494
190	302.521	169.575	258.456

Tabla 5.40 Valores de la presión de viento a distintas alturas en barlovento.

Para las paredes laterales, en sotavento y la cubierta se utiliza únicamente el valor de q_h para el cálculo de la presión de viento. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Paredes laterales, $c_p=-0.7$:

$$+GC_{pi} p=(302.521*0.8843*-0.7)-(302.521*0.1469)= -231.704 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p=(302.521*0.8843*-0.7)-(302.521*-0.1469)= -139.284 \text{ N/m}^2$$

Sotavento, $c_p=-0.5$:

$$+GC_{pi} p=(302.521*0.8843*-0.5)-(302.521*0.1469)= -181.739 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p=(302.521*0.8843*-0.5)-(302.521*-0.1469)= -85.780 \text{ N/m}^2$$

Cubierta, $c_p=-0.9$ y $c_p=-0.18$:

$$+GC_{pi} p=(302.521*0.8843*-0.9)-(302.521*0.1469)= -288.747 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p=(302.521*0.8843*-0.9)-(302.521*-0.1469)= -192.788 \text{ N/m}^2$$

$$+GC_{pi} p=(302.521*0.8843*-0.18)-(302.521*0.1469)= -96.133 \text{ N/m}^2$$

$$-GC_{pi} p=(302.521*0.8843*-0.18)-(302.521*-0.1469)= -0.174 \text{ N/m}^2$$

Los valores seleccionados son aquellos que representan el menor valor para cada caso. Los resultados finales se presentan en la Tabla 5.41, y gráficamente en la Figuras 5.12 y 5.13.

Superficie	Altura (m)	Presión de viento [N/m ²]
Pared a Barlovento	0-4.5	57.986
	6	63.073
	7.5	67.142
	9	71.211
	12	77.315
	15	82.401
	18	86.470
	20	90.540
	24.5	94.609
	27.5	97.661
	30.5	100.713
	36.5	105.799
	42.5	110.886
	49	114.955
	55	119.024
	60	122.076
	76	130.214
	90	137.335
	107	143.439
	122	149.543
137	154.630	
152	158.699	
155	159.992	
160	161.450	
165	162.876	
170	164.271	
175	165.637	
180	166.976	
185	168.288	
190	169.575	
Pared a Sotavento	-	-181.739
Paredes laterales	-	-231.704
Cubierta (a barlovento y sotavento)	-	-288.747

Tabla 5.41 Valores de la presión de viento a distintas alturas a barlovento, a sotavento, paredes laterales y cubierta.

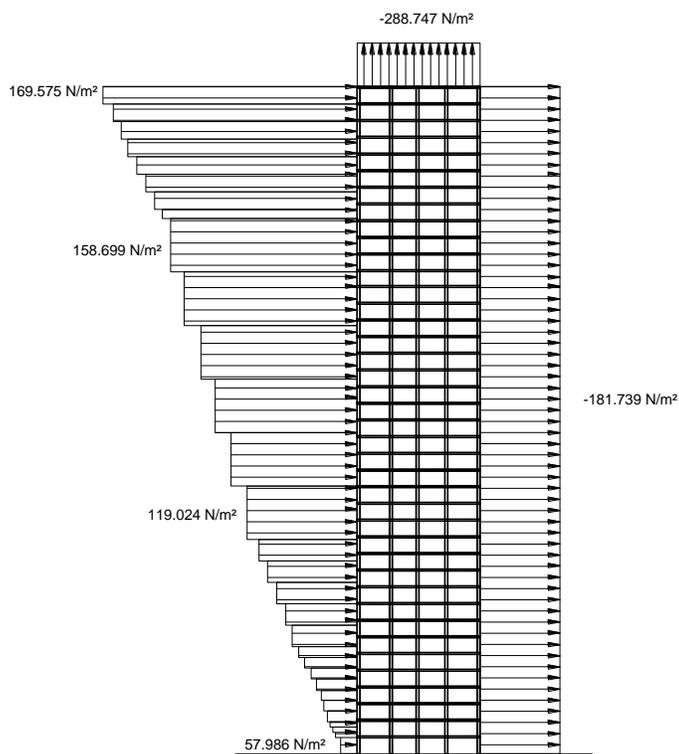


Figura 5.12 Distribución de cargas de viento en barlovento (izq.), sotavento (der.) y cubierta (sup.); vista lateral.

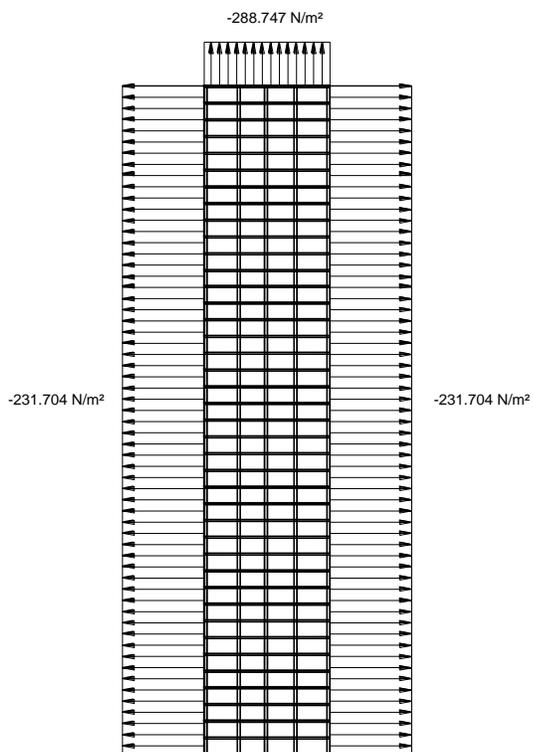


Figura 5.13 Cargas distribuidas de viento en paredes laterales (izq. & der.) y cubierta (sup.); vista frontal.

6 CAPÍTULO VI

6.1 Aplicación de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento de México.

6.1.1 Primer edificio de estudio: Aplicación del método estático para el cálculo de la presión de viento en Quito.

En esta norma lo primero que se realizó fue clasificar a la estructura de estudio de acuerdo con su respuesta ante la acción del viento. En la Sección 2.2.2.a se presenta 4 tipos de estructuras: las Tipo 1 son estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos de viento donde la relación entre altura y dimensión menor en planta debe ser menor a 5; las Tipo 2 que son estructuras cuya esbeltez las hace especialmente sensibles a las ráfagas de corta duración; las Tipo 3 donde la forma de la Sección transversal propicia la generación periódica de vórtices; y las Tipo 4 que son las estructuras que por su forma presentan problemas aerodinámicos especiales (Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento, 2004).

En este caso se determinó que la estructura es del Tipo 1, dado que la geometría del edificio de estudio, Figura 3.1, cumple con la relación entre altura y dimensión menor en planta, siendo este valor 1.77 (menor a 5).

Debido a que es una estructura del Tipo 1, se procede utilizar el método simplificado y estático propuesto en la norma para el diseño por viento.

Lo primero que se debe hacer en este método es determinar la velocidad de diseño que sirve para determinar los efectos estáticos del viento sobre una estructura, dicha velocidad se la obtiene aplicando la Ecuación 5.1, obtenida de la Sección 3.1 de la presente norma:

$$V_D = F_{TR} F_{\alpha} V_R \text{ Ecuación 6.1}$$

Dónde:

F_{TR} es el factor correctivo que toma en cuenta las condiciones locales relativas a la topografía y a la rugosidad del terreno en los alrededores del sitio de desplante;

F_{α} es el factor que toma en cuenta la variación de la velocidad con la altura;

V_R es la velocidad regional de acuerdo a la zona donde se construirá la estructura.

Antes de seleccionar la velocidad regional, se procede a determinar la importancia de la estructura basada en lo presentado en el artículo 139 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, 2004). En este artículo se clasifica a las estructuras en dos grupos de acuerdo a su importancia:

El Grupo A correspondiente a edificaciones cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por contener sustancia tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias flamables o tóxicas, museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, y otras edificaciones a juicio de la Secretaría de Obras y Servicios.

El Grupo B correspondiente a edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A.

A partir de esta clasificación se concluye que la importancia del edificio de estudio pertenece al Grupo B. Dicha clasificación permite concluir que la velocidad regional

medida para la zona debe ser la correspondiente a un período de retorno de 50 años, según lo especificado en la Sección 3.1.2 de la norma. La velocidad regional correspondiente a dicho período de retorno es de 16.685 m/s, valor obtenido de lo calculado en el capítulo 4 de este documento.

Para determinar el factor de variación de la velocidad del viento con respecto a la altura z (F_α) se deben utilizar las siguientes ecuaciones, extraídas de la Sección 3.1.2 de la norma:

$$F_\alpha = 1.0; \text{ si } z \leq 10 \text{ m}$$

De aquí se define el valor de 1.0 para el coeficiente para los primeros 10 metros de la estructura, de ahí en adelante se debe considerar la siguiente ecuación:

$$F_\alpha = \left(\frac{z}{10}\right)^\alpha; \text{ si } 10 \text{ m} < z < \delta \quad \text{Ecuación 6.2}$$

De donde δ es la altura gradiente medida a partir del nivel del terreno de desplante y α es un exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura (cita). Estos coeficientes están en función de la rugosidad del terreno, obtenida de la Tabla 6.1 que se muestra en la Sección 3.1.2 de la presente norma:

Tipos de terreno (fig. 3.1)		α	δ , m
R1	Escasas o nulas obstrucciones al flujo de viento, como en campo abierto	0.099	245
R2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	0.128	315
R3	Zona típica urbana y suburbana. El sitio está rodeado predominantemente por construcciones de mediana y baja altura o por áreas arboladas y no se cumplen las condiciones del Tipo R4	0.156	390
R4	Zona de gran densidad de edificios altos. Por lo menos la	0.170	455

Tabla 6.1 Rugosidad del terreno.

A partir de la información proporcionada de la Tabla 6.1, se concluye que el edificio de estudio tiene una rugosidad del tipo R3, ya que se encuentra ubicado en la zona de Cotocollao, al norte de Quito. Para este tipo de rugosidad, los coeficientes δ y α son 390 m y 0.156 respectivamente.

Se procede a verificar si se cumple la condición presente en la Ecuación 6.2 para comprobar que se puede hacer uso de la misma:

$$10 \text{ m} < z < \delta$$

$$10 \text{ m} < 31.92 \text{ m} < 390 \text{ m}$$

Una vez comprobada la condición, se obtiene el factor F_α para las diferentes alturas:

Altura [m]	F_α
11.00	1.015
12.00	1.029
13.00	1.042
14.00	1.054
15.00	1.065
16.00	1.076
17.00	1.086
18.00	1.096
19.00	1.105
20.00	1.114
21.00	1.123
22.00	1.131
23.00	1.139
24.00	1.146
25.00	1.154
26.00	1.161
27.00	1.168
28.00	1.174
29.00	1.181
30.00	1.187

31.00	1.193
31.92	1.198

Tabla 6.2 Valores obtenidos para el factor de variación con respecto a la altura.

El siguiente factor a considerar es el factor correctivo por topografía y rugosidad (F_{TR}) el cual considera el efecto topográfico local del sitio donde se ubicará la estructura junto con la variación de la rugosidad de los alrededores del sitio. Para hallar este factor se presenta la siguiente Tabla 6.3 extraída de la Sección 3.1.3 de la presente norma:

Tipos de topografía (fig. 3.2)	Rugosidad de terrenos en alrededores		
	Terreno tipo R2	Terreno tipo R3	Terreno tipo R4
T1 Base protegida de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento	0.80	0.70	0.66
T2 Valles cerrados	0.90	0.79	0.74
T3 Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5 % (normal)	1.00	0.88	0.82
T4 Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10 %	1.10	0.97	0.90
T5 Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de 10 %, cañadas o valles cerrados	1.20	1.06	0.98

En terreno de tipo R1, según se define en la tabla 3.2, el factor de topografía y rugosidad, F_{TR} , se tomará en todos los casos igual a 1.0.

Tabla 6.3 Factor F_{TR} (Factor de Topografía y Rugosidad del Terreno).

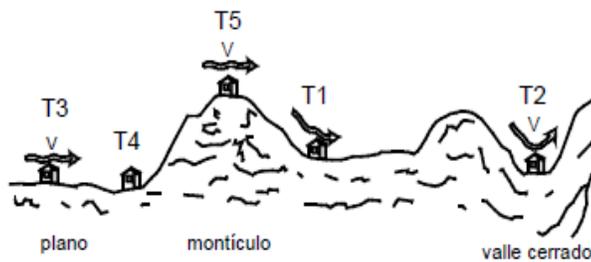


Figura 6.1 Formas topográficas locales, de acuerdo a lo descrito en la Tabla 6.3.

Tomando en consideración la topografía de la ciudad de Quito, específicamente en la zona de Cotocollao, se determina que esta corresponde al tipo T4 con terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10% y con una rugosidad del terreno R3 previamente determinada, se concluye que el factor de topografía y rugosidad (F_{TR}) es 0.97 como se puede apreciar en la Tabla 6.3.

Luego de establecer los factores necesarios se procede a emplearlos en la Ecuación 6.1 y de esta manera determinar la velocidad de diseño:

Altura [m]	Velocidad de Diseño, VD [m/s]
1-10.00	16.184
11.00	16.427
12.00	16.651
13.00	16.861
14.00	17.057
15.00	17.241
16.00	17.416
17.00	17.581
18.00	17.739
19.00	17.889
20.00	18.033
21.00	18.170
22.00	18.303
23.00	18.430
24.00	18.553
25.00	18.671
26.00	18.786
27.00	18.897
28.00	19.004
29.00	19.109
30.00	19.210
31.00	19.309
31.92	19.397

Tabla 6.4 Velocidad de diseño a distintas alturas.

Posteriormente, se procede a calcular la presión de diseño que ejerce el flujo del viento sobre el edificio en cuestión aplicando la siguiente ecuación, obtenida de la Sección 3.2 de la presente norma:

$$P_z = 0.47 C_p V_D^2 \quad \text{Ecuación 6.3}$$

Donde:

C_p es el coeficiente local de presión que depende de la forma de la estructura;

V_D es la velocidad de diseño a la altura z , ya definida.

El coeficiente local de presión se halla considerando el tipo y forma de la construcción, que para este estudio es el Caso 1 (Edificios y construcciones cerradas) según se especifica en la Sección 3.3.1 de la norma (Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento, 2004). A continuación, se muestra la Tabla 6.5 extraída de la misma Sección 3.3.1, donde se muestran los valores de dicho coeficiente, para las construcciones cerradas:

	C_p
Pared de barlovento	0.8
Pared de sotavento ¹	-0.4
Paredes laterales	-0.8
Techos planos	-0.8
Techos inclinados lado de sotavento	-0.7
Techos inclinados lado de barlovento ²	$-0.8 < 0.04\theta - 1.6 <$ 1.8
Techos curvos	ver tabla 3.5 y fig. 3.3

¹ La succión se considerará constante en toda la altura de la pared de sotavento y se calculará para un nivel z igual a la altura media del edificio;

² θ es el ángulo de inclinación del techo en grados.

Tabla 6.5 Coeficiente C_p , para construcciones cerradas.

El cálculo de la presión de diseño se lo hace para la pared de barlovento; pared de sotavento que como se puede apreciar en la norma en la Tabla 6.5, es un valor que

se mantiene constante en toda la altura; paredes laterales; y para techos planos debido a la geometría del edificio. Luego de emplear los coeficientes locales de presión en la Ecuación 6.3 se obtiene:

PRESION DE DISEÑO DEL VIENTO, PZ [N/m²]				
Altura [m]	Pared de Barlovento	Pared de Sotavento	Paredes laterales	Techos Planos
1-10.00	98.488	-70.733	-98.488	
11.00	101.461	-70.733	-101.461	
12.00	104.253	-70.733	-104.253	
13.00	106.889	-70.733	-106.889	
14.00	109.390	-70.733	-109.390	
15.00	111.770	-70.733	-111.770	
16.00	114.043	-70.733	-114.043	
17.00	116.221	-70.733	-116.221	
18.00	118.312	-70.733	-118.312	
19.00	120.325	-70.733	-120.325	
20.00	122.266	-70.733	-122.266	
21.00	124.141	-70.733	-124.141	
22.00	125.956	-70.733	-125.956	
23.00	127.715	-70.733	-127.715	
24.00	129.422	-70.733	-129.422	
25.00	131.081	-70.733	-131.081	
26.00	132.695	-70.733	-132.695	
27.00	134.267	-70.733	-134.267	
28.00	135.799	-70.733	-135.799	
29.00	137.294	-70.733	-137.294	
30.00	138.754	-70.733	-138.754	
31.00	140.181	-70.733	-140.181	
31.92	141.466	-70.733	-141.466	-141.466

Tabla 6.6 Presión de diseño del viento, P_z.

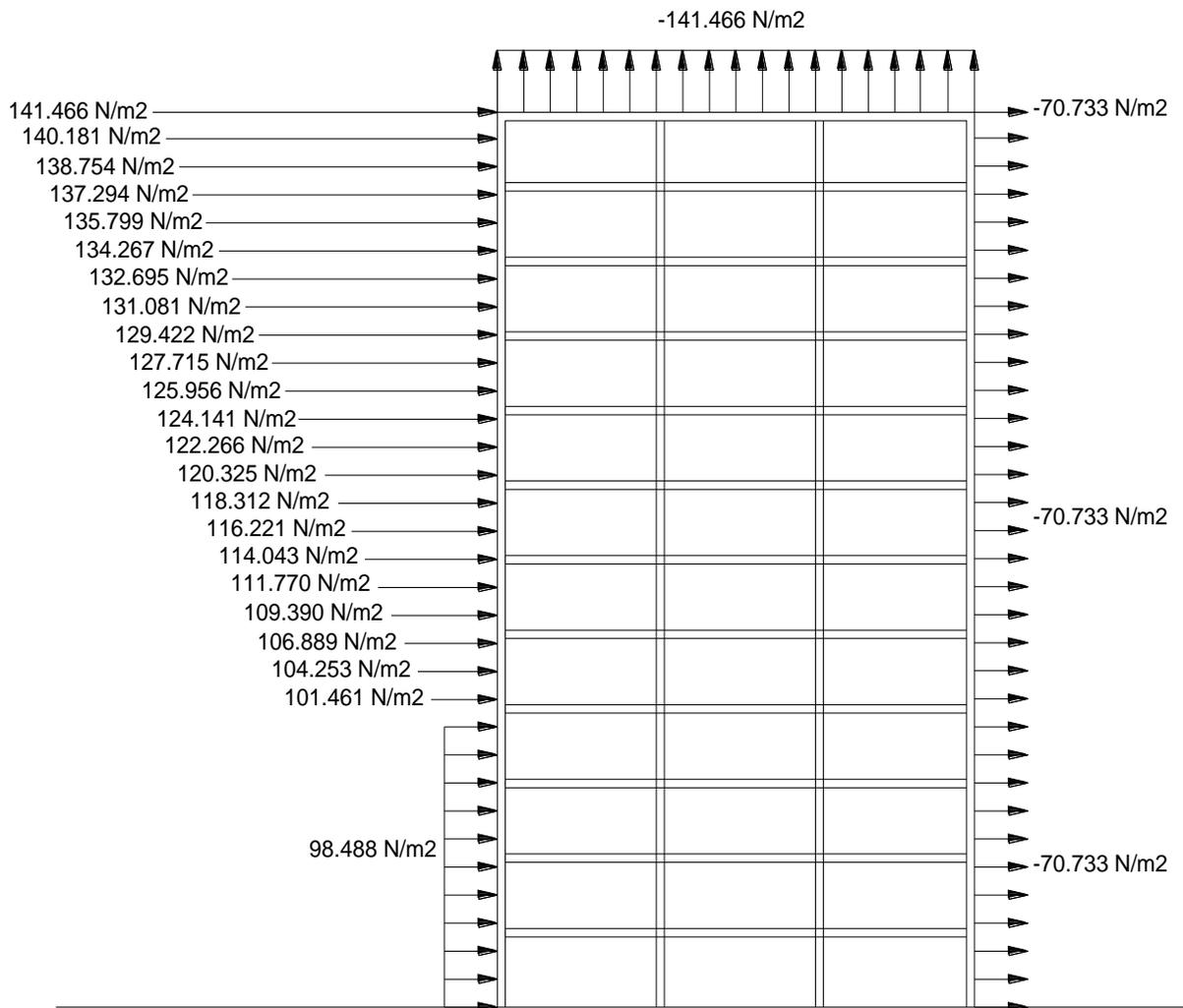


Figura 6.2 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).

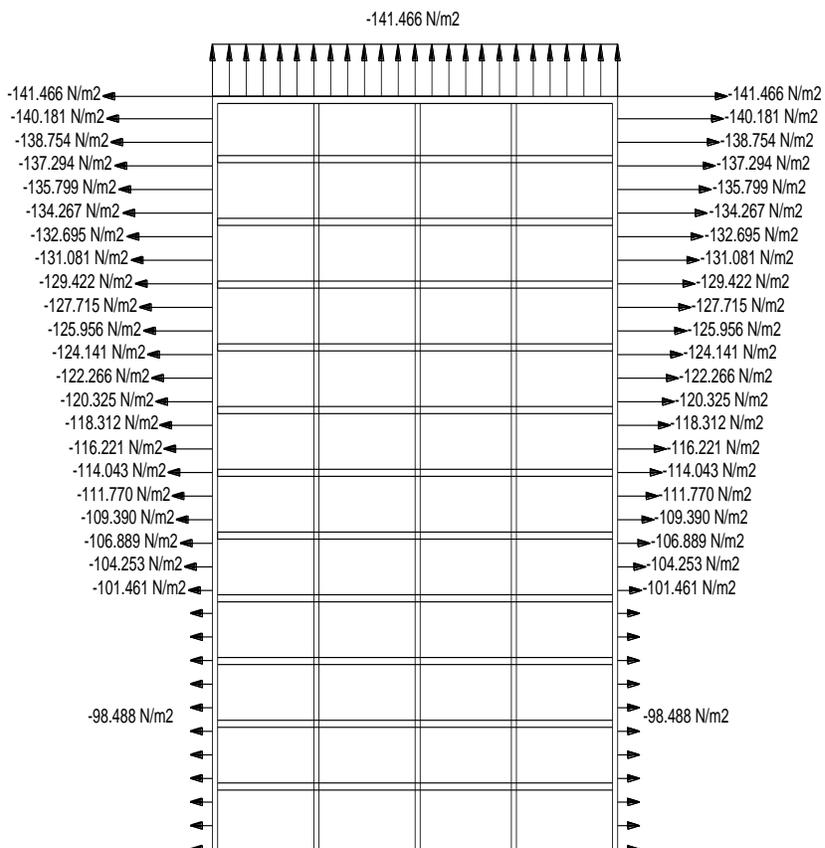


Figura 6.3 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. y der.) y Cubierta (sup.).

6.1.2 Primer edificio de estudio: Aplicación del método estático para el cálculo de la presión de viento en Guayaquil.

A continuación, se aplica la misma norma para el edificio de estudio ubicado en la ciudad de Guayaquil. Debido a que la estructura sigue teniendo las mismas características, se concluye que es una estructura del Tipo 1 con lo que se procede a utilizar el mismo método señalado en la norma.

En esta norma no se menciona un valor mínimo para la velocidad regional de acuerdo a la zona, por lo que en este caso se puede utilizar la velocidad medida para el centro de la ciudad de Guayaquil correspondiente a la Parroquia Pedro Carbo. Este valor fue encontrado a partir de las mediciones de la velocidad del viento, obtenidas del INAMHI como se muestra en el capítulo 4 de este documento. Como esta estructura pertenece al Grupo B según lo señalado en la Sección 6.1.1, se determina una velocidad del viento para un período de retorno de 50 años de 14.728 m/s, el cual será utilizado para obtener la velocidad de diseño.

El factor de variación de la velocidad del viento con respecto a la altura z , F_α , mantiene el valor de 1.0 para $z \leq 10$ m, mientras que para un z superior se debe aplicar la Ecuación 6.2 pero en este caso los valores de δ y α son distintos, ya que al analizar la Tabla 6.1 de la Sección 3.1.2 de la norma mexicana, y las características de la zona de estudio, se concluye que ahora la rugosidad del terreno es del tipo R4, correspondiente a zonas de gran densidad de edificios altos. Posteriormente, en la Tabla 6.1 se puede obtener que los valores para los coeficientes δ y α son 455 y 0.170 respectivamente. Al aplicar estos valores en la antes mencionada Ecuación 6, se obtiene:

Altura [m]	F α	Altura [m]	F α
11.00	1.016	22.00	1.143
12.00	1.031	23.00	1.152
13.00	1.046	24.00	1.160
14.00	1.059	25.00	1.169
15.00	1.071	26.00	1.176
16.00	1.083	27.00	1.184
17.00	1.094	28.00	1.191
18.00	1.105	29.00	1.198
19.00	1.115	30.00	1.205
20.00	1.125	31.00	1.212
21.00	1.134	31.92	1.218

Tabla 6.7 Valores obtenidos para el factor de variación con respecto a la altura.

Para hallar el factor correctivo por topografía y rugosidad (F_{TR}) se recurre a la Tabla 6.3 en donde se puede apreciar gracias a la Figura 6.1 que el tipo de topografía que corresponde a la zona es la de la categoría T3 que corresponde a terrenos planos, con ausencia de cambios topográficos importantes y con pendientes menores de 5%. De aquí se obtiene que el factor F_{TR} , tiene un valor de 0.82.

Una vez establecidos todos los factores necesarios para determinar la velocidad de diseño con la Ecuación 6.1, se obtiene:

Altura [m]	Velocidad de Diseño, VD [m/s]
1-10.00	12.077
11.00	12.274
12.00	12.457
13.00	12.628
14.00	12.788
15.00	12.939
16.00	13.082
17.00	13.217
18.00	13.346
19.00	13.469
20.00	13.587
21.00	13.700
22.00	13.809
23.00	13.914
24.00	14.015
25.00	14.113
26.00	14.207
27.00	14.298
28.00	14.387
29.00	14.473
30.00	14.557
31.00	14.638
31.92	14.711

Tabla 6.8 Velocidad de diseño calculado a distintas alturas.

Para determinar la presión de diseño, Ecuación 6.3, que ejerce el flujo del viento sobre el edificio se debe determinar primero el coeficiente local de presión basándose en el Caso 1 de la Sección 3.3.1 de la norma, ya que las características y propiedades de la estructura no han cambiado. La Tabla 6.5 muestra los valores del coeficiente local de presión para paredes laterales, a barlovento y sotavento; y para techos planos.

Al aplicar estos valores en la Ecuación 6.3, se obtiene:

PRESION DE DISEÑO DEL VIENTO, PZ [N/m²]				
Altura [m]	Pared de Barlovento	Pared de Sotavento	Paredes laterales	Techos Planos
1-10.00	54.841	-40.687	-54.841	
11.00	56.647	-40.687	-56.647	
12.00	58.348	-40.687	-58.348	
13.00	59.958	-40.687	-59.958	
14.00	61.487	-40.687	-61.487	
15.00	62.947	-40.687	-62.947	
16.00	64.343	-40.687	-64.343	
17.00	65.683	-40.687	-65.683	
18.00	66.972	-40.687	-66.972	
19.00	68.215	-40.687	-68.215	
20.00	69.415	-40.687	-69.415	
21.00	70.576	-40.687	-70.576	
22.00	71.701	-40.687	-71.701	
23.00	72.793	-40.687	-72.793	
24.00	73.854	-40.687	-73.854	
25.00	74.886	-40.687	-74.886	
26.00	75.892	-40.687	-75.892	
27.00	76.872	-40.687	-76.872	
28.00	77.828	-40.687	-77.828	
29.00	78.762	-40.687	-78.762	
30.00	79.675	-40.687	-79.675	
31.00	80.569	-40.687	-80.569	
31.92	81.374	-40.687	-81.374	-81.374

Tabla 6.9 Presión de diseño del viento, Pz.

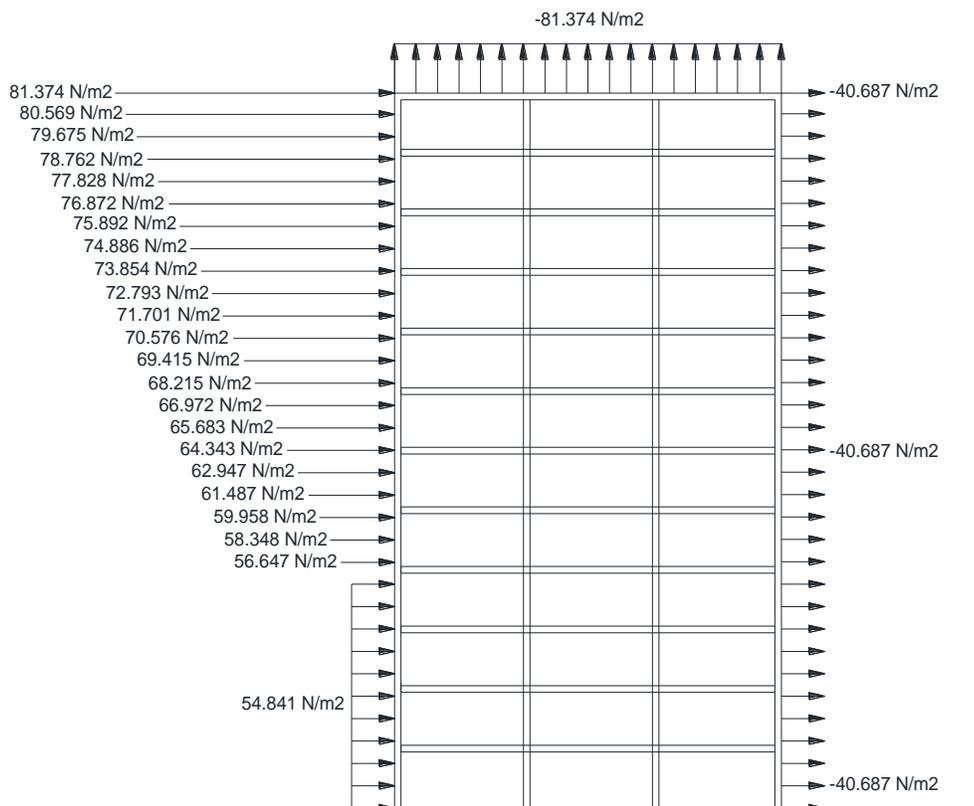


Figura 6.4 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).

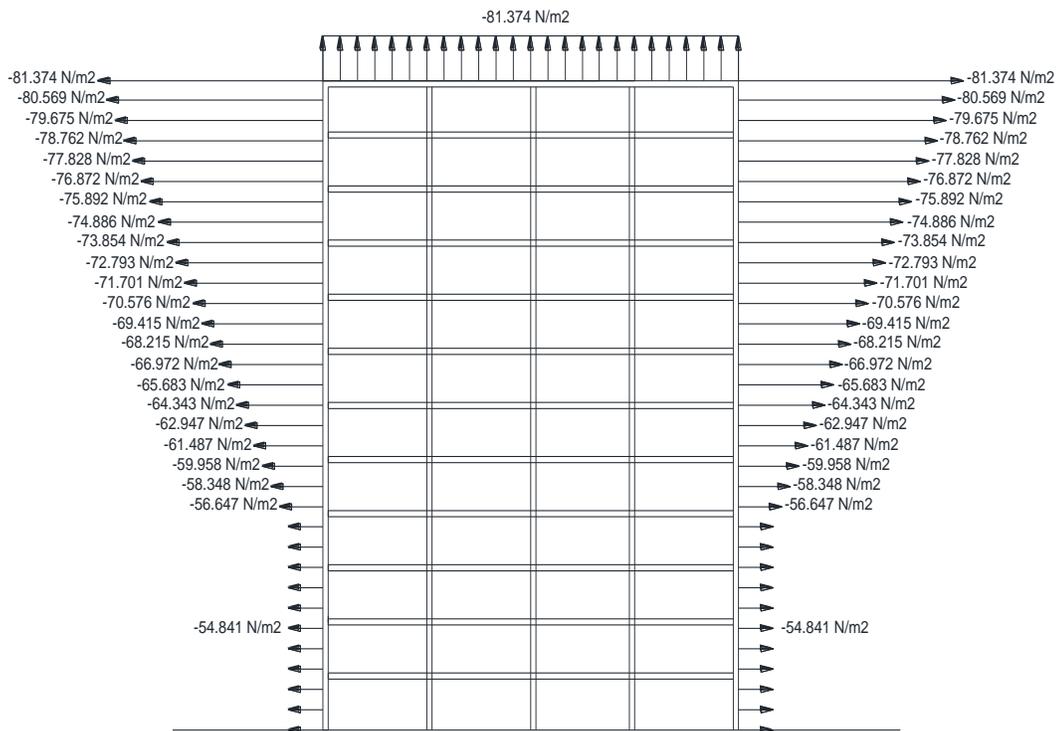


Figura 6.5 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. y der.) y Cubierta (sup.).

6.1.3 Segundo edificio de estudio, SwissTowers: Aplicación del método estático y dinámico para el cálculo de la presión de viento.

A continuación, se aplicará la norma mexicana para el cálculo de la presión que ejerce el viento sobre el edificio "SwissTowers" ubicado en la ciudad de Guayaquil. Se procede a determinar el tipo de estructura al que pertenece, concluyendo que es una estructura del Tipo 2, según lo expuesto en la Sección 6.1.1, ya que se tiene una relación h/L mayor a 5 (5.56). Por esta razón y como se menciona en la norma mexicana, se debe realizar un análisis de los efectos estáticos y dinámicos causados por turbulencia.

Se comienza por realizar el análisis estático como ya se lo ha realizado en las otras Secciones. Primero, para poder determinar la velocidad de diseño, se toma una velocidad regional para la zona de 14728 m/s, valor obtenido a partir de lo señalado en el capítulo 4 de este documento para un período de retorno de 50 años.

El factor de variación de la velocidad del viento con respecto a la altura z , F_α , mantiene el valor de 1.0 para $z \leq 10$ m, mientras que para un z superior se debe aplicar la Ecuación 6.2, pero en este caso los valores de δ y α son distintos, ya que al analizar la Tabla 6.1 de la Sección 3.1.2 de la norma mexicana, y las características de la zona de estudio, se concluye que ahora la rugosidad del terreno es del tipo R2, correspondiente a zonas con terreno plano con pocas obstrucciones. En la misma tabla se pueden obtener los valores para los coeficientes δ y α , 315 y 0.128 respectivamente. Al aplicar estos valores en la Ecuación 6.2 antes mencionada, se obtiene:

Altura [m]	F α						
1.0-10.0	1.000	56.0	1.247	102.0	1.346	148.0	1.412
11.0	1.012	57.0	1.250	103.0	1.348	149.0	1.413
12.0	1.024	58.0	1.252	104.0	1.350	150.0	1.414
13.0	1.034	59.0	1.255	105.0	1.351	151.0	1.415
14.0	1.044	60.0	1.258	106.0	1.353	152.0	1.417
15.0	1.053	61.0	1.260	107.0	1.354	153.0	1.418
16.0	1.062	62.0	1.263	108.0	1.356	154.0	1.419
17.0	1.070	63.0	1.266	109.0	1.358	155.0	1.420
18.0	1.078	64.0	1.268	110.0	1.359	156.0	1.421
19.0	1.086	65.0	1.271	111.0	1.361	157.0	1.423
20.0	1.093	66.0	1.273	112.0	1.362	158.0	1.424
21.0	1.100	67.0	1.276	113.0	1.364	159.0	1.425
22.0	1.106	68.0	1.278	114.0	1.365	160.0	1.426
23.0	1.113	69.0	1.280	115.0	1.367	161.0	1.427
24.0	1.119	70.0	1.283	116.0	1.369	162.0	1.428
25.0	1.124	71.0	1.285	117.0	1.370	163.0	1.429
26.0	1.130	72.0	1.287	118.0	1.372	164.0	1.431
27.0	1.136	73.0	1.290	119.0	1.373	165.0	1.432
28.0	1.141	74.0	1.292	120.0	1.374	166.0	1.433
29.0	1.146	75.0	1.294	121.0	1.376	167.0	1.434
30.0	1.151	76.0	1.296	122.0	1.377	168.0	1.435
31.0	1.156	77.0	1.299	123.0	1.379	169.0	1.436
32.0	1.161	78.0	1.301	124.0	1.380	170.0	1.437
33.0	1.165	79.0	1.303	125.0	1.382	171.0	1.438
34.0	1.170	80.0	1.305	126.0	1.383	172.0	1.439
35.0	1.174	81.0	1.307	127.0	1.384	173.0	1.440
36.0	1.178	82.0	1.309	128.0	1.386	174.0	1.441
37.0	1.182	83.0	1.311	129.0	1.387	175.0	1.442
38.0	1.186	84.0	1.313	130.0	1.389	176.0	1.444
39.0	1.190	85.0	1.315	131.0	1.390	177.0	1.445
40.0	1.194	86.0	1.317	132.0	1.391	178.0	1.446
41.0	1.198	87.0	1.319	133.0	1.393	179.0	1.447
42.0	1.202	88.0	1.321	134.0	1.394	180.0	1.448
43.0	1.205	89.0	1.323	135.0	1.395	181.0	1.449
44.0	1.209	90.0	1.325	136.0	1.397	182.0	1.450
45.0	1.212	91.0	1.327	137.0	1.398	183.0	1.451
46.0	1.216	92.0	1.329	138.0	1.399	184.0	1.452
47.0	1.219	93.0	1.330	139.0	1.401	185.0	1.453
48.0	1.222	94.0	1.332	140.0	1.402	186.0	1.454

49.0	1.226	95.0	1.334	141.0	1.403	187.0	1.455
50.0	1.229	96.0	1.336	142.0	1.404	188.0	1.456
51.0	1.232	97.0	1.338	143.0	1.406	189.0	1.457
52.0	1.235	98.0	1.339	144.0	1.407	190.0	1.458
53.0	1.238	99.0	1.341	145.0	1.408		
54.0	1.241	100.0	1.343	146.0	1.409		
55.0	1.244	101.0	1.344	147.0	1.411		

Tabla 6.10 Valores obtenidos para el factor de variación con respecto a la altura.

El factor correctivo por topografía y rugosidad (F_{TR}) se obtiene de la Tabla 6.3 en donde se fue apreciar gracias a la Figura 6.1 que se tiene una topografía de categoría T3, correspondiente a un valor de 0.82 para dicho factor.

Una vez establecidos todos los factores necesarios para determinar la velocidad de diseño con la Ecuación 6.1, se obtiene:

Altura [m]	VD [m/s]						
1.0-10.0	14.728	56.0	18.362	102.0	19.826	148.0	20.794
11.0	14.909	57.0	18.403	103.0	19.851	149.0	20.812
12.0	15.076	58.0	18.444	104.0	19.876	150.0	20.830
13.0	15.231	59.0	18.485	105.0	19.900	151.0	20.847
14.0	15.376	60.0	18.525	106.0	19.924	152.0	20.865
15.0	15.513	61.0	18.564	107.0	19.948	153.0	20.883
16.0	15.641	62.0	18.602	108.0	19.972	154.0	20.900
17.0	15.763	63.0	18.641	109.0	19.996	155.0	20.917
18.0	15.879	64.0	18.678	110.0	20.019	156.0	20.935
19.0	15.989	65.0	18.715	111.0	20.042	157.0	20.952
20.0	16.094	66.0	18.752	112.0	20.065	158.0	20.969
21.0	16.195	67.0	18.788	113.0	20.088	159.0	20.986
22.0	16.292	68.0	18.824	114.0	20.111	160.0	21.003
23.0	16.385	69.0	18.859	115.0	20.133	161.0	21.019
24.0	16.474	70.0	18.894	116.0	20.156	162.0	21.036
25.0	16.561	71.0	18.928	117.0	20.178	163.0	21.053
26.0	16.644	72.0	18.962	118.0	20.200	164.0	21.069
27.0	16.725	73.0	18.995	119.0	20.222	165.0	21.085
28.0	16.803	74.0	19.029	120.0	20.243	166.0	21.102
29.0	16.878	75.0	19.061	121.0	20.265	167.0	21.118
30.0	16.952	76.0	19.094	122.0	20.286	168.0	21.134

31.0	17.023	77.0	19.126	123.0	20.307	169.0	21.150
32.0	17.092	78.0	19.157	124.0	20.328	170.0	21.166
33.0	17.160	79.0	19.188	125.0	20.349	171.0	21.182
34.0	17.226	80.0	19.219	126.0	20.370	172.0	21.198
35.0	17.290	81.0	19.250	127.0	20.391	173.0	21.214
36.0	17.352	82.0	19.280	128.0	20.411	174.0	21.229
37.0	17.413	83.0	19.310	129.0	20.431	175.0	21.245
38.0	17.473	84.0	19.340	130.0	20.452	176.0	21.260
39.0	17.531	85.0	19.369	131.0	20.472	177.0	21.276
40.0	17.588	86.0	19.398	132.0	20.492	178.0	21.291
41.0	17.643	87.0	19.427	133.0	20.511	179.0	21.306
42.0	17.698	88.0	19.455	134.0	20.531	180.0	21.322
43.0	17.751	89.0	19.483	135.0	20.551	181.0	21.337
44.0	17.804	90.0	19.511	136.0	20.570	182.0	21.352
45.0	17.855	91.0	19.539	137.0	20.589	183.0	21.367
46.0	17.905	92.0	19.566	138.0	20.609	184.0	21.382
47.0	17.954	93.0	19.593	139.0	20.628	185.0	21.396
48.0	18.003	94.0	19.620	140.0	20.647	186.0	21.411
49.0	18.050	95.0	19.647	141.0	20.665	187.0	21.426
50.0	18.097	96.0	19.673	142.0	20.684	188.0	21.441
51.0	18.143	97.0	19.699	143.0	20.703	189.0	21.455
52.0	18.188	98.0	19.725	144.0	20.721	190.0	21.470
53.0	18.233	99.0	19.751	145.0	20.740		
54.0	18.276	100.0	19.776	146.0	20.758		
55.0	18.319	101.0	19.801	147.0	20.776		

Tabla 6.11 Velocidad de diseño calculado para distintas alturas.

El caso que se utiliza para encontrar los distintos valores para el coeficiente local es el Caso 1 para edificios cerrados como ya se mencionó en secciones anteriores de este documento. Los coeficientes para paredes: laterales, a barlovento y sotavento; y para techos planos, se obtienen de la Tabla 6.5 antes mostrada y al aplicarlos en la Ecuación 6.3 junto a la velocidad de diseño se obtiene:

Presión de diseño del viento (P_z) en la pared de barlovento:

Altura [m]	Pz [N/m2]						
1.0-10.0	81.560	56.0	126.769	102.0	147.801	148.0	162.578
11.0	83.574	57.0	127.344	103.0	148.170	149.0	162.859
12.0	85.457	58.0	127.912	104.0	148.537	150.0	163.138
13.0	87.226	59.0	128.473	105.0	148.902	151.0	163.416
14.0	88.896	60.0	129.027	106.0	149.264	152.0	163.692
15.0	90.480	61.0	129.575	107.0	149.623	153.0	163.967
16.0	91.988	62.0	130.115	108.0	149.979	154.0	164.241
17.0	93.427	63.0	130.649	109.0	150.334	155.0	164.513
18.0	94.804	64.0	131.177	110.0	150.686	156.0	164.784
19.0	96.125	65.0	131.699	111.0	151.035	157.0	165.054
20.0	97.396	66.0	132.214	112.0	151.382	158.0	165.322
21.0	98.620	67.0	132.724	113.0	151.727	159.0	165.590
22.0	99.801	68.0	133.229	114.0	152.070	160.0	165.856
23.0	100.943	69.0	133.728	115.0	152.410	161.0	166.120
24.0	102.049	70.0	134.221	116.0	152.748	162.0	166.384
25.0	103.121	71.0	134.709	117.0	153.084	163.0	166.646
26.0	104.162	72.0	135.192	118.0	153.418	164.0	166.907
27.0	105.173	73.0	135.671	119.0	153.750	165.0	167.167
28.0	106.157	74.0	136.144	120.0	154.080	166.0	167.426
29.0	107.115	75.0	136.613	121.0	154.408	167.0	167.684
30.0	108.048	76.0	137.077	122.0	154.733	168.0	167.940
31.0	108.959	77.0	137.536	123.0	155.057	169.0	168.196
32.0	109.848	78.0	137.991	124.0	155.379	170.0	168.450
33.0	110.717	79.0	138.442	125.0	155.698	171.0	168.703
34.0	111.567	80.0	138.889	126.0	156.016	172.0	168.955
35.0	112.398	81.0	139.331	127.0	156.332	173.0	169.206
36.0	113.211	82.0	139.769	128.0	156.647	174.0	169.456
37.0	114.008	83.0	140.204	129.0	156.959	175.0	169.704
38.0	114.789	84.0	140.634	130.0	157.270	176.0	169.952
39.0	115.555	85.0	141.061	131.0	157.578	177.0	170.199
40.0	116.306	86.0	141.484	132.0	157.886	178.0	170.444
41.0	117.044	87.0	141.903	133.0	158.191	179.0	170.689
42.0	117.768	88.0	142.319	134.0	158.495	180.0	170.933
43.0	118.480	89.0	142.731	135.0	158.796	181.0	171.175
44.0	119.179	90.0	143.140	136.0	159.097	182.0	171.417
45.0	119.866	91.0	143.546	137.0	159.395	183.0	171.658
46.0	120.543	92.0	143.948	138.0	159.692	184.0	171.897
47.0	121.208	93.0	144.347	139.0	159.988	185.0	172.136
48.0	121.863	94.0	144.743	140.0	160.282	186.0	172.374

49.0	122.508	95.0	145.135	141.0	160.574	187.0	172.610
50.0	123.144	96.0	145.525	142.0	160.865	188.0	172.846
51.0	123.769	97.0	145.911	143.0	161.154	189.0	173.081
52.0	124.386	98.0	146.295	144.0	161.442	190.0	173.315
53.0	124.994	99.0	146.676	145.0	161.728		
54.0	125.594	100.0	147.054	146.0	162.013		
55.0	126.185	101.0	147.429	147.0	162.296		

Tabla 6.12 Presión de diseño en la pared de barlovento.

Presión de diseño del viento (P_z) en las paredes laterales:

Altura [m]	P_z [N/m ²]						
1.0-10.0	-81.560	56.0	-126.769	102.0	-147.801	148.0	-162.578
11.0	-83.574	57.0	-127.344	103.0	-148.170	149.0	-162.859
12.0	-85.457	58.0	-127.912	104.0	-148.537	150.0	-163.138
13.0	-87.226	59.0	-128.473	105.0	-148.902	151.0	-163.416
14.0	-88.896	60.0	-129.027	106.0	-149.264	152.0	-163.692
15.0	-90.480	61.0	-129.575	107.0	-149.623	153.0	-163.967
16.0	-91.988	62.0	-130.115	108.0	-149.979	154.0	-164.241
17.0	-93.427	63.0	-130.649	109.0	-150.334	155.0	-164.513
18.0	-94.804	64.0	-131.177	110.0	-150.686	156.0	-164.784
19.0	-96.125	65.0	-131.699	111.0	-151.035	157.0	-165.054
20.0	-97.396	66.0	-132.214	112.0	-151.382	158.0	-165.322
21.0	-98.620	67.0	-132.724	113.0	-151.727	159.0	-165.590
22.0	-99.801	68.0	-133.229	114.0	-152.070	160.0	-165.856
23.0	-100.943	69.0	-133.728	115.0	-152.410	161.0	-166.120
24.0	-102.049	70.0	-134.221	116.0	-152.748	162.0	-166.384
25.0	-103.121	71.0	-134.709	117.0	-153.084	163.0	-166.646
26.0	-104.162	72.0	-135.192	118.0	-153.418	164.0	-166.907
27.0	-105.173	73.0	-135.671	119.0	-153.750	165.0	-167.167
28.0	-106.157	74.0	-136.144	120.0	-154.080	166.0	-167.426
29.0	-107.115	75.0	-136.613	121.0	-154.408	167.0	-167.684
30.0	-108.048	76.0	-137.077	122.0	-154.733	168.0	-167.940
31.0	-108.959	77.0	-137.536	123.0	-155.057	169.0	-168.196
32.0	-109.848	78.0	-137.991	124.0	-155.379	170.0	-168.450
33.0	-110.717	79.0	-138.442	125.0	-155.698	171.0	-168.703
34.0	-111.567	80.0	-138.889	126.0	-156.016	172.0	-168.955
35.0	-112.398	81.0	-139.331	127.0	-156.332	173.0	-169.206
36.0	-113.211	82.0	-139.769	128.0	-156.647	174.0	-169.456
37.0	-114.008	83.0	-140.204	129.0	-156.959	175.0	-169.704

38.0	-114.789	84.0	-140.634	130.0	-157.270	176.0	-169.952
39.0	-115.555	85.0	-141.061	131.0	-157.578	177.0	-170.199
40.0	-116.306	86.0	-141.484	132.0	-157.886	178.0	-170.444
41.0	-117.044	87.0	-141.903	133.0	-158.191	179.0	-170.689
42.0	-117.768	88.0	-142.319	134.0	-158.495	180.0	-170.933
43.0	-118.480	89.0	-142.731	135.0	-158.796	181.0	-171.175
44.0	-119.179	90.0	-143.140	136.0	-159.097	182.0	-171.417
45.0	-119.866	91.0	-143.546	137.0	-159.395	183.0	-171.658
46.0	-120.543	92.0	-143.948	138.0	-159.692	184.0	-171.897
47.0	-121.208	93.0	-144.347	139.0	-159.988	185.0	-172.136
48.0	-121.863	94.0	-144.743	140.0	-160.282	186.0	-172.374
49.0	-122.508	95.0	-145.135	141.0	-160.574	187.0	-172.610
50.0	-123.144	96.0	-145.525	142.0	-160.865	188.0	-172.846
51.0	-123.769	97.0	-145.911	143.0	-161.154	189.0	-173.081
52.0	-124.386	98.0	-146.295	144.0	-161.442	190.0	-173.315
53.0	-124.994	99.0	-146.676	145.0	-161.728		
54.0	-125.594	100.0	-147.054	146.0	-162.013		
55.0	-126.185	101.0	-147.429	147.0	-162.296		

Tabla 6.13 Presión de diseño para las paredes laterales.

La presión de diseño del viento (P_z) se mantiene constante en toda la altura de la pared de sotavento según la norma:

Altura [m]	P_z , Pared de Sotavento [Pa]
1.0-190.0	-86.658

Tabla 6.14 Presión de diseño en la pared de sotavento.

Presión de diseño del viento (P_z) en techos planos:

Altura [m]	P_z , Techos Planos [N/m ²]
190.0	-173.315

Tabla 6.15 Presión de diseño en la cubierta (techo plano).

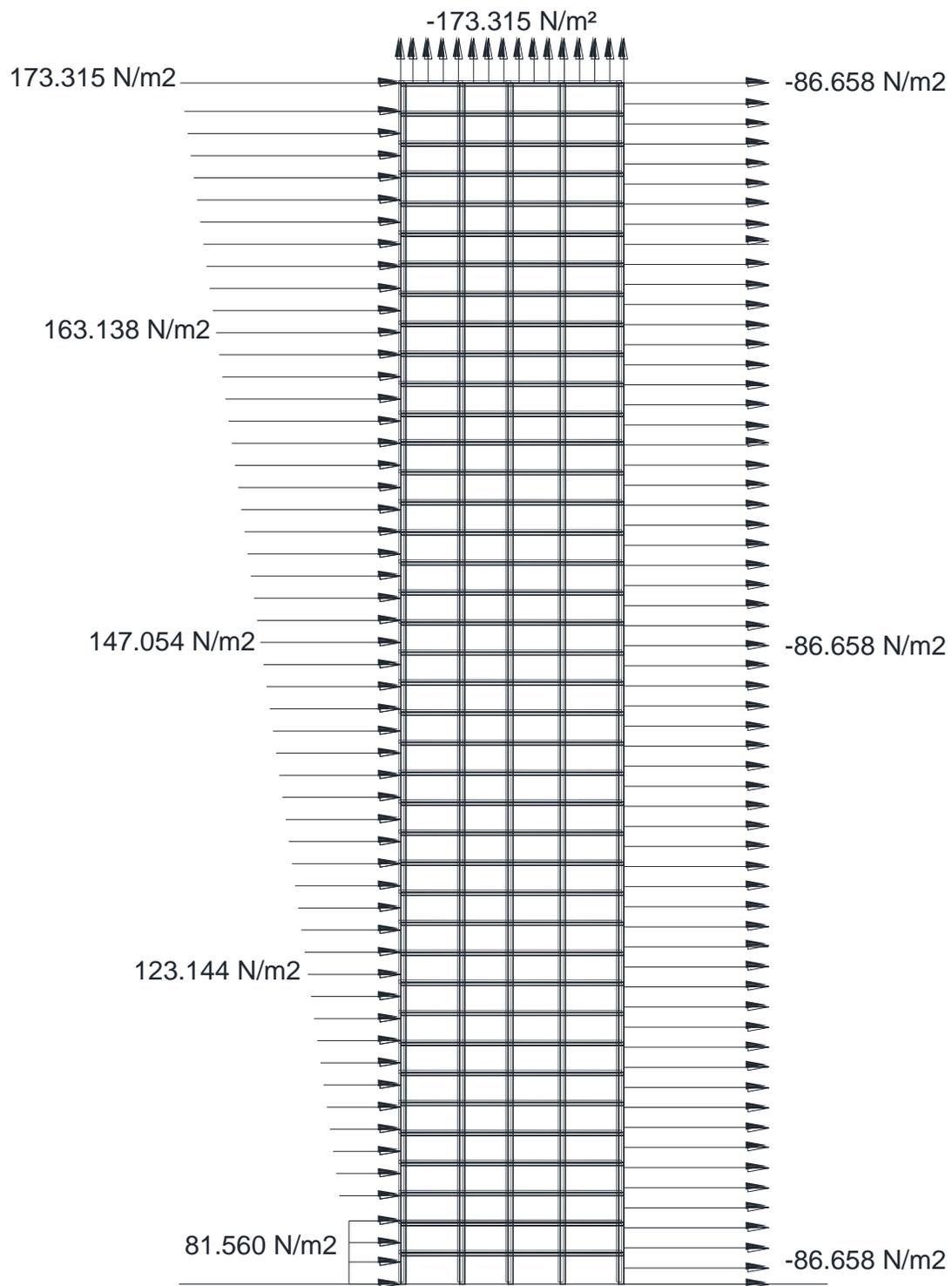


Figura 6.6 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta.

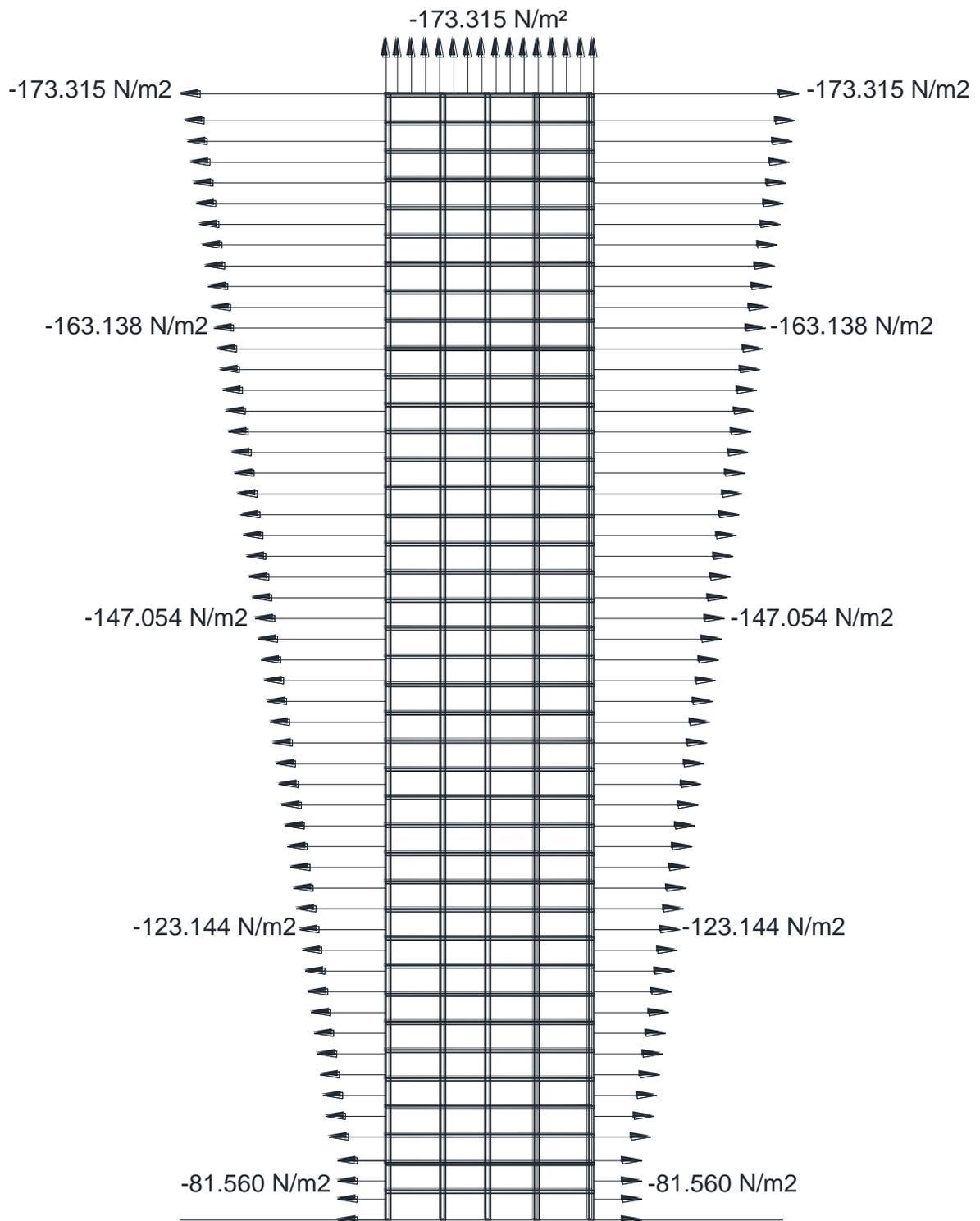


Figura 6.7 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. y der.) y Cubierta (sup.)

A continuación, se procede a determinar el efecto dinámico debido a la turbulencia que es un factor que se debe multiplicar con la presión de diseño calculada con la Ecuación 6.3. Este factor de amplificación dinámica se lo obtiene con la siguiente ecuación:

$$G = 0.43 + g \sqrt{\frac{R}{c_e} \left(B + \frac{SF}{\beta} \right)} \geq 1 \quad \text{Ecuación 6.4}$$

Primero, se debe determinar el factor de excitación de fondo (B). Este factor es determinado a partir de la siguiente Figura 6.8 extraída del capítulo 5 de la presente norma:

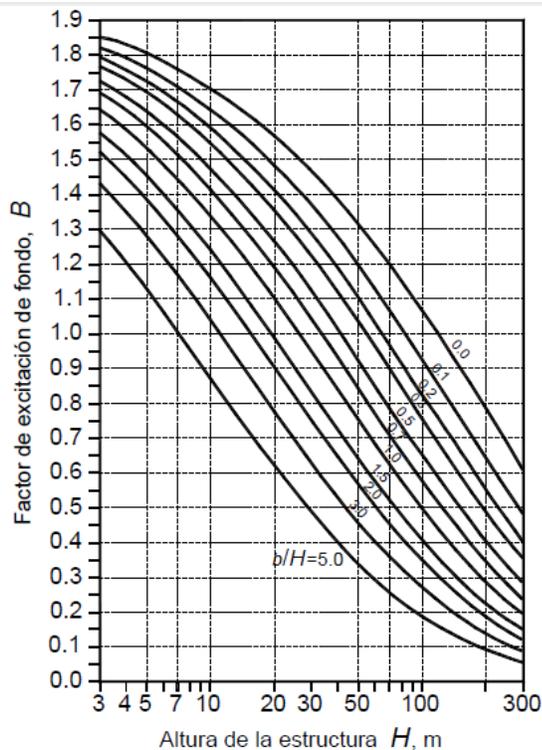


Figura 6.8 Parámetro B para calcular el factor de respuesta dinámica.

A través de aproximación y considerando que la altura del edificio es 190 metros con una relación entre el ancho de mayor dimensión y la altura total del edificio (B/h) igual a 0.18 ($34.26/190 = 0.18$); se determina que el factor B es igual a 0.60.

Luego, se procede a determinar el factor reductivo por tamaño (S). Este factor es determinado a partir de la siguiente Figura 6.9 extraída del capítulo 5 de la presente norma:

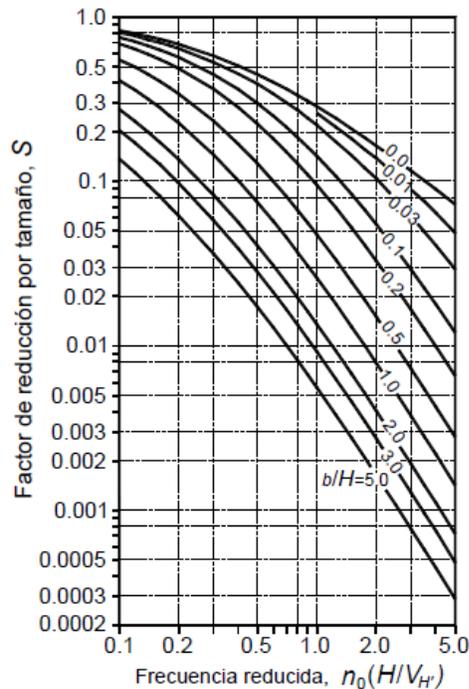


Figura 6.9 Parámetro S para calcular el factor de respuesta dinámica.

El valor de la frecuencia del modo fundamental de la estructura (n_0) es 1.047 Hz, este valor se lo toma de la Sección 4.1.3.3 donde se realiza el análisis de los efectos de la fuerza del viento en esta misma estructura (SwissTowers) pero con la aplicación de la norma ASCE7-10. El valor de la relación b/H es 0.18 como ya fue determinado para el factor de excitación de fondo. Considerando estos valores y de manera aproximada se determina que el factor S es 0.70.

Lo siguiente es determinar el factor de relación de energía en ráfaga. Para hallar este factor se aplica la siguiente ecuación:

$$F = \frac{x_0^2}{(1+x_0^2)^{\frac{4}{3}}} \quad \text{Ecuación 6.5}$$

El coeficiente x_0 se lo obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$x_0 = \left(\frac{1220n_0}{V_H} \right) \quad \text{Ecuación 6.6}$$

Y a su vez el factor V_H se obtiene de la siguiente ecuación:

$$V_H = V_R \sqrt{RC_e} \quad \text{Ecuación 6.7}$$

De donde C_e es un factor correctivo que depende de la altura z y se lo obtiene de la ecuación:

$$C_e = \left(\frac{z}{a} \right)^n \quad \text{Ecuación 6.8}$$

Los coeficientes a y n junto con el coeficiente de exposición (R) de la Ecuación 6.7 son obtenidos de la siguiente tabla extraída del capítulo 5 de la presente norma:

Exposición	R	a	n
R1	0.04	10	0.18
R2	0.08	10	0.28
R3	0.16	20	0.50
R4	0.34	33	0.72

Tabla 6.16 Parámetros R , a y n según la condición de exposición.

Los valores de los coeficientes son seleccionados en función de las condiciones de exposición mencionadas en la Sección 6.1.1 en donde se determinó que en este caso se trata de un exposición del tipo R2, por lo que se concluye que los coeficientes R , a y n son 0.08, 10 y 0.28 respectivamente.

Aplicando a y n en la Ecuación 6.8 para diferentes alturas se obtiene:

Altura, z [m]	Ce						
1.0-10.0	1.000	56.0	1.620	102.0	1.916	148.0	2.127
11.0	1.027	57.0	1.628	103.0	1.921	149.0	2.131
12.0	1.052	58.0	1.636	104.0	1.927	150.0	2.135
13.0	1.076	59.0	1.644	105.0	1.932	151.0	2.139
14.0	1.099	60.0	1.652	106.0	1.937	152.0	2.142
15.0	1.120	61.0	1.659	107.0	1.942	153.0	2.146
16.0	1.141	62.0	1.667	108.0	1.947	154.0	2.150
17.0	1.160	63.0	1.674	109.0	1.952	155.0	2.154
18.0	1.179	64.0	1.682	110.0	1.957	156.0	2.158
19.0	1.197	65.0	1.689	111.0	1.962	157.0	2.162
20.0	1.214	66.0	1.696	112.0	1.967	158.0	2.166
21.0	1.231	67.0	1.703	113.0	1.972	159.0	2.170
22.0	1.247	68.0	1.710	114.0	1.977	160.0	2.173
23.0	1.263	69.0	1.717	115.0	1.982	161.0	2.177
24.0	1.278	70.0	1.724	116.0	1.986	162.0	2.181
25.0	1.292	71.0	1.731	117.0	1.991	163.0	2.185
26.0	1.307	72.0	1.738	118.0	1.996	164.0	2.189
27.0	1.321	73.0	1.745	119.0	2.001	165.0	2.192
28.0	1.334	74.0	1.751	120.0	2.005	166.0	2.196
29.0	1.347	75.0	1.758	121.0	2.010	167.0	2.200
30.0	1.360	76.0	1.765	122.0	2.015	168.0	2.203
31.0	1.373	77.0	1.771	123.0	2.019	169.0	2.207
32.0	1.385	78.0	1.777	124.0	2.024	170.0	2.211
33.0	1.397	79.0	1.784	125.0	2.028	171.0	2.214
34.0	1.409	80.0	1.790	126.0	2.033	172.0	2.218
35.0	1.420	81.0	1.796	127.0	2.037	173.0	2.222
36.0	1.431	82.0	1.802	128.0	2.042	174.0	2.225
37.0	1.442	83.0	1.809	129.0	2.046	175.0	2.229
38.0	1.453	84.0	1.815	130.0	2.051	176.0	2.232
39.0	1.464	85.0	1.821	131.0	2.055	177.0	2.236
40.0	1.474	86.0	1.827	132.0	2.059	178.0	2.239
41.0	1.484	87.0	1.833	133.0	2.064	179.0	2.243
42.0	1.495	88.0	1.838	134.0	2.068	180.0	2.246
43.0	1.504	89.0	1.844	135.0	2.072	181.0	2.250
44.0	1.514	90.0	1.850	136.0	2.077	182.0	2.253
45.0	1.524	91.0	1.856	137.0	2.081	183.0	2.257
46.0	1.533	92.0	1.861	138.0	2.085	184.0	2.260
47.0	1.542	93.0	1.867	139.0	2.090	185.0	2.264
48.0	1.551	94.0	1.873	140.0	2.094	186.0	2.267

49.0	1.560	95.0	1.878	141.0	2.098	187.0	2.270
50.0	1.569	96.0	1.884	142.0	2.102	188.0	2.274
51.0	1.578	97.0	1.889	143.0	2.106	189.0	2.277
52.0	1.587	98.0	1.895	144.0	2.110	190.0	2.281
53.0	1.595	99.0	1.900	145.0	2.114		
54.0	1.604	100.0	1.905	146.0	2.118		
55.0	1.612	101.0	1.911	147.0	2.123		

Tabla 6.17 Coeficientes Ce calculado a diferentes alturas.

Los coeficientes obtenidos para Ce junto con el coeficiente de exposición R de la Tabla 6.16 y la velocidad regional de 14.728 m/s, se aplican en la Ecuación 6.7 obteniendo:

Altura, z [m]	VH						
1-10.0	4.166	56.0	5.302	102.0	5.766	148.0	6.075
11.0	4.222	57.0	5.315	103.0	5.774	149.0	6.080
12.0	4.273	58.0	5.328	104.0	5.782	150.0	6.086
13.0	4.322	59.0	5.341	105.0	5.790	151.0	6.092
14.0	4.367	60.0	5.353	106.0	5.797	152.0	6.097
15.0	4.409	61.0	5.366	107.0	5.805	153.0	6.103
16.0	4.449	62.0	5.378	108.0	5.813	154.0	6.109
17.0	4.487	63.0	5.390	109.0	5.820	155.0	6.114
18.0	4.523	64.0	5.402	110.0	5.828	156.0	6.120
19.0	4.557	65.0	5.414	111.0	5.835	157.0	6.125
20.0	4.590	66.0	5.425	112.0	5.842	158.0	6.131
21.0	4.622	67.0	5.437	113.0	5.850	159.0	6.136
22.0	4.652	68.0	5.448	114.0	5.857	160.0	6.141
23.0	4.681	69.0	5.459	115.0	5.864	161.0	6.147
24.0	4.709	70.0	5.470	116.0	5.871	162.0	6.152
25.0	4.736	71.0	5.481	117.0	5.878	163.0	6.157
26.0	4.762	72.0	5.492	118.0	5.885	164.0	6.163
27.0	4.787	73.0	5.502	119.0	5.892	165.0	6.168
28.0	4.812	74.0	5.513	120.0	5.899	166.0	6.173
29.0	4.835	75.0	5.523	121.0	5.906	167.0	6.178
30.0	4.858	76.0	5.534	122.0	5.913	168.0	6.183
31.0	4.881	77.0	5.544	123.0	5.919	169.0	6.189
32.0	4.902	78.0	5.554	124.0	5.926	170.0	6.194
33.0	4.924	79.0	5.564	125.0	5.933	171.0	6.199
34.0	4.944	80.0	5.573	126.0	5.939	172.0	6.204

35.0	4.964	81.0	5.583	127.0	5.946	173.0	6.209
36.0	4.984	82.0	5.593	128.0	5.952	174.0	6.214
37.0	5.003	83.0	5.602	129.0	5.959	175.0	6.219
38.0	5.022	84.0	5.612	130.0	5.965	176.0	6.224
39.0	5.040	85.0	5.621	131.0	5.972	177.0	6.229
40.0	5.058	86.0	5.630	132.0	5.978	178.0	6.234
41.0	5.075	87.0	5.639	133.0	5.985	179.0	6.239
42.0	5.093	88.0	5.648	134.0	5.991	180.0	6.243
43.0	5.109	89.0	5.657	135.0	5.997	181.0	6.248
44.0	5.126	90.0	5.666	136.0	6.003	182.0	6.253
45.0	5.142	91.0	5.675	137.0	6.009	183.0	6.258
46.0	5.158	92.0	5.684	138.0	6.016	184.0	6.263
47.0	5.173	93.0	5.692	139.0	6.022	185.0	6.267
48.0	5.189	94.0	5.701	140.0	6.028	186.0	6.272
49.0	5.204	95.0	5.709	141.0	6.034	187.0	6.277
50.0	5.218	96.0	5.718	142.0	6.040	188.0	6.282
51.0	5.233	97.0	5.726	143.0	6.046	189.0	6.286
52.0	5.247	98.0	5.734	144.0	6.051	190.0	6.291
53.0	5.261	99.0	5.742	145.0	6.057		
54.0	5.275	100.0	5.750	146.0	6.063		
55.0	5.289	101.0	5.758	147.0	6.069		

Tabla 6.18 Valores de V_h calculados para diferentes alturas de la edificación.

Los valores del coeficiente V_H junto con la frecuencia n_0 antes mencionada, se aplican en la Ecuación 6.6 y se obtiene:

Altura, z [m]	x_0						
1-10.0	306.63	56.0	240.92	102.0	221.52	148.0	210.27
11.0	302.57	57.0	240.32	103.0	221.22	149.0	210.07
12.0	298.90	58.0	239.74	104.0	220.92	150.0	209.88
13.0	295.57	59.0	239.17	105.0	220.62	151.0	209.68
14.0	292.52	60.0	238.60	106.0	220.33	152.0	209.49
15.0	289.71	61.0	238.05	107.0	220.04	153.0	209.30
16.0	287.11	62.0	237.51	108.0	219.75	154.0	209.11
17.0	284.68	63.0	236.98	109.0	219.47	155.0	208.92
18.0	282.41	64.0	236.46	110.0	219.19	156.0	208.73
19.0	280.28	65.0	235.94	111.0	218.91	157.0	208.54
20.0	278.27	66.0	235.44	112.0	218.64	158.0	208.36
21.0	276.38	67.0	234.95	113.0	218.37	159.0	208.17
22.0	274.59	68.0	234.46	114.0	218.10	160.0	207.99

23.0	272.88	69.0	233.98	115.0	217.83	161.0	207.81
24.0	271.26	70.0	233.51	116.0	217.57	162.0	207.63
25.0	269.72	71.0	233.05	117.0	217.31	163.0	207.45
26.0	268.24	72.0	232.59	118.0	217.05	164.0	207.27
27.0	266.83	73.0	232.14	119.0	216.79	165.0	207.10
28.0	265.47	74.0	231.70	120.0	216.54	166.0	206.92
29.0	264.17	75.0	231.26	121.0	216.29	167.0	206.75
30.0	262.92	76.0	230.84	122.0	216.04	168.0	206.57
31.0	261.71	77.0	230.41	123.0	215.79	169.0	206.40
32.0	260.55	78.0	230.00	124.0	215.55	170.0	206.23
33.0	259.43	79.0	229.59	125.0	215.30	171.0	206.06
34.0	258.35	80.0	229.18	126.0	215.06	172.0	205.89
35.0	257.30	81.0	228.79	127.0	214.83	173.0	205.73
36.0	256.29	82.0	228.39	128.0	214.59	174.0	205.56
37.0	255.31	83.0	228.01	129.0	214.36	175.0	205.40
38.0	254.36	84.0	227.62	130.0	214.12	176.0	205.23
39.0	253.44	85.0	227.25	131.0	213.89	177.0	205.07
40.0	252.54	86.0	226.88	132.0	213.67	178.0	204.91
41.0	251.67	87.0	226.51	133.0	213.44	179.0	204.75
42.0	250.82	88.0	226.15	134.0	213.22	180.0	204.59
43.0	250.00	89.0	225.79	135.0	213.00	181.0	204.43
44.0	249.19	90.0	225.44	136.0	212.78	182.0	204.27
45.0	248.41	91.0	225.09	137.0	212.56	183.0	204.11
46.0	247.65	92.0	224.74	138.0	212.34	184.0	203.96
47.0	246.90	93.0	224.40	139.0	212.13	185.0	203.80
48.0	246.18	94.0	224.07	140.0	211.91	186.0	203.65
49.0	245.47	95.0	223.74	141.0	211.70	187.0	203.50
50.0	244.77	96.0	223.41	142.0	211.49	188.0	203.35
51.0	244.09	97.0	223.08	143.0	211.29	189.0	203.20
52.0	243.43	98.0	222.76	144.0	211.08	190.0	203.04
53.0	242.78	99.0	222.45	145.0	210.88		
54.0	242.15	100.0	222.14	146.0	210.67		
55.0	241.53	101.0	221.83	147.0	210.47		

Tabla 6.19 Valores de x_0 calculados a distintas alturas.

Una vez determinado el coeficiente x_0 a diferentes alturas, se procede a aplicar la Ecuación 6.5:

Altura, z [m]	F						
1-10.0	0.022	56.0	0.026	102.0	0.027	148.0	0.028
11.0	0.022	57.0	0.026	103.0	0.027	149.0	0.028
12.0	0.022	58.0	0.026	104.0	0.027	150.0	0.028
13.0	0.023	59.0	0.026	105.0	0.027	151.0	0.028
14.0	0.023	60.0	0.026	106.0	0.027	152.0	0.028
15.0	0.023	61.0	0.026	107.0	0.027	153.0	0.028
16.0	0.023	62.0	0.026	108.0	0.027	154.0	0.028
17.0	0.023	63.0	0.026	109.0	0.027	155.0	0.028
18.0	0.023	64.0	0.026	110.0	0.028	156.0	0.028
19.0	0.023	65.0	0.026	111.0	0.028	157.0	0.028
20.0	0.023	66.0	0.026	112.0	0.028	158.0	0.028
21.0	0.024	67.0	0.026	113.0	0.028	159.0	0.028
22.0	0.024	68.0	0.026	114.0	0.028	160.0	0.028
23.0	0.024	69.0	0.026	115.0	0.028	161.0	0.029
24.0	0.024	70.0	0.026	116.0	0.028	162.0	0.029
25.0	0.024	71.0	0.026	117.0	0.028	163.0	0.029
26.0	0.024	72.0	0.026	118.0	0.028	164.0	0.029
27.0	0.024	73.0	0.026	119.0	0.028	165.0	0.029
28.0	0.024	74.0	0.027	120.0	0.028	166.0	0.029
29.0	0.024	75.0	0.027	121.0	0.028	167.0	0.029
30.0	0.024	76.0	0.027	122.0	0.028	168.0	0.029
31.0	0.024	77.0	0.027	123.0	0.028	169.0	0.029
32.0	0.025	78.0	0.027	124.0	0.028	170.0	0.029
33.0	0.025	79.0	0.027	125.0	0.028	171.0	0.029
34.0	0.025	80.0	0.027	126.0	0.028	172.0	0.029
35.0	0.025	81.0	0.027	127.0	0.028	173.0	0.029
36.0	0.025	82.0	0.027	128.0	0.028	174.0	0.029
37.0	0.025	83.0	0.027	129.0	0.028	175.0	0.029
38.0	0.025	84.0	0.027	130.0	0.028	176.0	0.029
39.0	0.025	85.0	0.027	131.0	0.028	177.0	0.029
40.0	0.025	86.0	0.027	132.0	0.028	178.0	0.029
41.0	0.025	87.0	0.027	133.0	0.028	179.0	0.029
42.0	0.025	88.0	0.027	134.0	0.028	180.0	0.029
43.0	0.025	89.0	0.027	135.0	0.028	181.0	0.029
44.0	0.025	90.0	0.027	136.0	0.028	182.0	0.029
45.0	0.025	91.0	0.027	137.0	0.028	183.0	0.029
46.0	0.025	92.0	0.027	138.0	0.028	184.0	0.029
47.0	0.025	93.0	0.027	139.0	0.028	185.0	0.029
48.0	0.025	94.0	0.027	140.0	0.028	186.0	0.029

49.0	0.026	95.0	0.027	141.0	0.028	187.0	0.029
50.0	0.026	96.0	0.027	142.0	0.028	188.0	0.029
51.0	0.026	97.0	0.027	143.0	0.028	189.0	0.029
52.0	0.026	98.0	0.027	144.0	0.028	190.0	0.029
53.0	0.026	99.0	0.027	145.0	0.028		
54.0	0.026	100.0	0.027	146.0	0.028		
55.0	0.026	101.0	0.027	147.0	0.028		

Tabla 6.20 Valores de relación de energía en ráfagas (F) calculados a diferentes alturas.

Posteriormente, se procede a determinar la tasa media de fluctuación (v) a través de la siguiente ecuación presentada en el capítulo 5 de la presente norma:

$$v = n_0 \sqrt{\frac{SF}{SF + \beta B}} \quad \text{Ecuación 6.9}$$

Los factores S, F y B ya fueron determinados a excepción de β que es una fracción del amortiguamiento crítico igual a 0.02 en estructuras de concreto según la norma.

Al aplicar dichos factores en la Ecuación 6.9 se obtiene:

Altura, z [m]	v						
1-10.0	0.785	56.0	0.812	102.0	0.821	148.0	0.826
11.0	0.786	57.0	0.812	103.0	0.821	149.0	0.826
12.0	0.788	58.0	0.812	104.0	0.821	150.0	0.826
13.0	0.789	59.0	0.812	105.0	0.821	151.0	0.826
14.0	0.790	60.0	0.813	106.0	0.821	152.0	0.827
15.0	0.791	61.0	0.813	107.0	0.821	153.0	0.827
16.0	0.792	62.0	0.813	108.0	0.822	154.0	0.827
17.0	0.793	63.0	0.813	109.0	0.822	155.0	0.827
18.0	0.794	64.0	0.814	110.0	0.822	156.0	0.827
19.0	0.795	65.0	0.814	111.0	0.822	157.0	0.827
20.0	0.796	66.0	0.814	112.0	0.822	158.0	0.827
21.0	0.797	67.0	0.814	113.0	0.822	159.0	0.827
22.0	0.797	68.0	0.815	114.0	0.822	160.0	0.827
23.0	0.798	69.0	0.815	115.0	0.822	161.0	0.827
24.0	0.799	70.0	0.815	116.0	0.823	162.0	0.827
25.0	0.799	71.0	0.815	117.0	0.823	163.0	0.828
26.0	0.800	72.0	0.815	118.0	0.823	164.0	0.828
27.0	0.801	73.0	0.816	119.0	0.823	165.0	0.828

28.0	0.801	74.0	0.816	120.0	0.823	166.0	0.828
29.0	0.802	75.0	0.816	121.0	0.823	167.0	0.828
30.0	0.802	76.0	0.816	122.0	0.823	168.0	0.828
31.0	0.803	77.0	0.816	123.0	0.823	169.0	0.828
32.0	0.803	78.0	0.817	124.0	0.824	170.0	0.828
33.0	0.804	79.0	0.817	125.0	0.824	171.0	0.828
34.0	0.804	80.0	0.817	126.0	0.824	172.0	0.828
35.0	0.805	81.0	0.817	127.0	0.824	173.0	0.828
36.0	0.805	82.0	0.817	128.0	0.824	174.0	0.828
37.0	0.805	83.0	0.818	129.0	0.824	175.0	0.829
38.0	0.806	84.0	0.818	130.0	0.824	176.0	0.829
39.0	0.806	85.0	0.818	131.0	0.824	177.0	0.829
40.0	0.807	86.0	0.818	132.0	0.824	178.0	0.829
41.0	0.807	87.0	0.818	133.0	0.825	179.0	0.829
42.0	0.807	88.0	0.818	134.0	0.825	180.0	0.829
43.0	0.808	89.0	0.819	135.0	0.825	181.0	0.829
44.0	0.808	90.0	0.819	136.0	0.825	182.0	0.829
45.0	0.808	91.0	0.819	137.0	0.825	183.0	0.829
46.0	0.809	92.0	0.819	138.0	0.825	184.0	0.829
47.0	0.809	93.0	0.819	139.0	0.825	185.0	0.829
48.0	0.809	94.0	0.819	140.0	0.825	186.0	0.829
49.0	0.810	95.0	0.820	141.0	0.825	187.0	0.830
50.0	0.810	96.0	0.820	142.0	0.826	188.0	0.830
51.0	0.810	97.0	0.820	143.0	0.826	189.0	0.830
52.0	0.811	98.0	0.820	144.0	0.826	190.0	0.830
53.0	0.811	99.0	0.820	145.0	0.826		
54.0	0.811	100.0	0.820	146.0	0.826		
55.0	0.811	101.0	0.821	147.0	0.826		

Tabla 6.21 Valores de v calculados a diferentes alturas.

Otro factor a considerar es el de respuesta máxima el cual se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$g = \left(\sqrt{2 \ln(3600v)} + \frac{0.58}{\sqrt{2 \ln(3600v)}} \right) \frac{1}{2.3} \geq 1.48 \quad \text{Ecuación 6.10}$$

Al aplicar los valores de v para las diferentes alturas en la Ecuación 6.10, se obtiene:

Altura, z [m]	g						
1-10.0	1.7966	56.0	1.8001	102.0	1.8012	148.0	1.8019
11.0	1.7968	57.0	1.8001	103.0	1.8013	149.0	1.8019
12.0	1.7969	58.0	1.8002	104.0	1.8013	150.0	1.8020
13.0	1.7971	59.0	1.8002	105.0	1.8013	151.0	1.8020
14.0	1.7973	60.0	1.8002	106.0	1.8013	152.0	1.8020
15.0	1.7974	61.0	1.8003	107.0	1.8013	153.0	1.8020
16.0	1.7976	62.0	1.8003	108.0	1.8013	154.0	1.8020
17.0	1.7977	63.0	1.8003	109.0	1.8014	155.0	1.8020
18.0	1.7978	64.0	1.8003	110.0	1.8014	156.0	1.8020
19.0	1.7979	65.0	1.8004	111.0	1.8014	157.0	1.8020
20.0	1.7980	66.0	1.8004	112.0	1.8014	158.0	1.8021
21.0	1.7981	67.0	1.8004	113.0	1.8014	159.0	1.8021
22.0	1.7982	68.0	1.8005	114.0	1.8014	160.0	1.8021
23.0	1.7983	69.0	1.8005	115.0	1.8015	161.0	1.8021
24.0	1.7984	70.0	1.8005	116.0	1.8015	162.0	1.8021
25.0	1.7985	71.0	1.8005	117.0	1.8015	163.0	1.8021
26.0	1.7986	72.0	1.8006	118.0	1.8015	164.0	1.8021
27.0	1.7986	73.0	1.8006	119.0	1.8015	165.0	1.8021
28.0	1.7987	74.0	1.8006	120.0	1.8015	166.0	1.8021
29.0	1.7988	75.0	1.8007	121.0	1.8016	167.0	1.8022
30.0	1.7988	76.0	1.8007	122.0	1.8016	168.0	1.8022
31.0	1.7989	77.0	1.8007	123.0	1.8016	169.0	1.8022
32.0	1.7990	78.0	1.8007	124.0	1.8016	170.0	1.8022
33.0	1.7990	79.0	1.8008	125.0	1.8016	171.0	1.8022
34.0	1.7991	80.0	1.8008	126.0	1.8016	172.0	1.8022
35.0	1.7992	81.0	1.8008	127.0	1.8016	173.0	1.8022
36.0	1.7992	82.0	1.8008	128.0	1.8017	174.0	1.8022
37.0	1.7993	83.0	1.8008	129.0	1.8017	175.0	1.8022
38.0	1.7993	84.0	1.8009	130.0	1.8017	176.0	1.8022
39.0	1.7994	85.0	1.8009	131.0	1.8017	177.0	1.8023
40.0	1.7994	86.0	1.8009	132.0	1.8017	178.0	1.8023
41.0	1.7995	87.0	1.8009	133.0	1.8017	179.0	1.8023
42.0	1.7995	88.0	1.8010	134.0	1.8017	180.0	1.8023
43.0	1.7996	89.0	1.8010	135.0	1.8018	181.0	1.8023
44.0	1.7996	90.0	1.8010	136.0	1.8018	182.0	1.8023
45.0	1.7997	91.0	1.8010	137.0	1.8018	183.0	1.8023
46.0	1.7997	92.0	1.8010	138.0	1.8018	184.0	1.8023
47.0	1.7997	93.0	1.8011	139.0	1.8018	185.0	1.8023
48.0	1.7998	94.0	1.8011	140.0	1.8018	186.0	1.8023

49.0	1.7998	95.0	1.8011	141.0	1.8018	187.0	1.8024
50.0	1.7999	96.0	1.8011	142.0	1.8019	188.0	1.8024
51.0	1.7999	97.0	1.8011	143.0	1.8019	189.0	1.8024
52.0	1.7999	98.0	1.8012	144.0	1.8019	190.0	1.8024
53.0	1.8000	99.0	1.8012	145.0	1.8019		
54.0	1.8000	100.0	1.8012	146.0	1.8019		
55.0	1.8001	101.0	1.8012	147.0	1.8019		

Tabla 6.22 Resultados de g para distintas alturas.

Una vez determinados los factores necesarios para encontrar el factor de amplificación dinámica, se aplica la Ecuación 6.4 y se obtiene:

Altura, z [m]	G						
1-10.0	1.0247	56.0	0.9206	102.0	0.8891	148.0	0.8707
11.0	1.0184	57.0	0.9196	103.0	0.8886	149.0	0.8703
12.0	1.0126	58.0	0.9187	104.0	0.8881	150.0	0.8700
13.0	1.0074	59.0	0.9177	105.0	0.8876	151.0	0.8697
14.0	1.0026	60.0	0.9168	106.0	0.8872	152.0	0.8694
15.0	0.9982	61.0	0.9160	107.0	0.8867	153.0	0.8691
16.0	0.9941	62.0	0.9151	108.0	0.8862	154.0	0.8687
17.0	0.9903	63.0	0.9142	109.0	0.8858	155.0	0.8684
18.0	0.9867	64.0	0.9134	110.0	0.8853	156.0	0.8681
19.0	0.9834	65.0	0.9125	111.0	0.8848	157.0	0.8678
20.0	0.9802	66.0	0.9117	112.0	0.8844	158.0	0.8675
21.0	0.9772	67.0	0.9109	113.0	0.8840	159.0	0.8672
22.0	0.9744	68.0	0.9101	114.0	0.8835	160.0	0.8669
23.0	0.9717	69.0	0.9094	115.0	0.8831	161.0	0.8666
24.0	0.9691	70.0	0.9086	116.0	0.8826	162.0	0.8663
25.0	0.9666	71.0	0.9079	117.0	0.8822	163.0	0.8660
26.0	0.9643	72.0	0.9071	118.0	0.8818	164.0	0.8657
27.0	0.9620	73.0	0.9064	119.0	0.8814	165.0	0.8654
28.0	0.9599	74.0	0.9057	120.0	0.8810	166.0	0.8651
29.0	0.9578	75.0	0.9050	121.0	0.8805	167.0	0.8649
30.0	0.9558	76.0	0.9043	122.0	0.8801	168.0	0.8646
31.0	0.9539	77.0	0.9036	123.0	0.8797	169.0	0.8643
32.0	0.9521	78.0	0.9029	124.0	0.8793	170.0	0.8640
33.0	0.9503	79.0	0.9022	125.0	0.8789	171.0	0.8637
34.0	0.9485	80.0	0.9016	126.0	0.8785	172.0	0.8635
35.0	0.9469	81.0	0.9009	127.0	0.8782	173.0	0.8632
36.0	0.9453	82.0	0.9003	128.0	0.8778	174.0	0.8629

37.0	0.9437	83.0	0.8997	129.0	0.8774	175.0	0.8626
38.0	0.9422	84.0	0.8991	130.0	0.8770	176.0	0.8624
39.0	0.9407	85.0	0.8984	131.0	0.8766	177.0	0.8621
40.0	0.9393	86.0	0.8978	132.0	0.8763	178.0	0.8618
41.0	0.9379	87.0	0.8972	133.0	0.8759	179.0	0.8616
42.0	0.9365	88.0	0.8966	134.0	0.8755	180.0	0.8613
43.0	0.9352	89.0	0.8961	135.0	0.8751	181.0	0.8610
44.0	0.9339	90.0	0.8955	136.0	0.8748	182.0	0.8608
45.0	0.9326	91.0	0.8949	137.0	0.8744	183.0	0.8605
46.0	0.9314	92.0	0.8944	138.0	0.8741	184.0	0.8603
47.0	0.9302	93.0	0.8938	139.0	0.8737	185.0	0.8600
48.0	0.9290	94.0	0.8933	140.0	0.8734	186.0	0.8597
49.0	0.9279	95.0	0.8927	141.0	0.8730	187.0	0.8595
50.0	0.9268	96.0	0.8922	142.0	0.8727	188.0	0.8592
51.0	0.9257	97.0	0.8917	143.0	0.8723	189.0	0.8590
52.0	0.9246	98.0	0.8911	144.0	0.8720	190.0	0.8587
53.0	0.9236	99.0	0.8906	145.0	0.8717		
54.0	0.9226	100.0	0.8901	146.0	0.8713		
55.0	0.9216	101.0	0.8896	147.0	0.8710		

Tabla 6.23 Valores de la amplificación dinámica (G) a distintas alturas.

En la norma se especifica que el factor de amplificación dinámica debe ser mayor o igual 1 por lo que a partir de los 14 metros de altura del edificio, en adelante; se toma este valor como 1 debido a que se obtiene uno menor al especificado en la norma.

Al multiplicar el factor de amplificación dinámica correspondiente a los primeros 13 metros de altura del edificio con la presión de diseño, se obtiene:

Para pared a barlovento:

Altura, z [m]	Pz, Pared de Barlovento [N/m ²]
1-10.0	83.574
11.0	85.108
12.0	86.536
13.0	87.872
14.0	89.130

Tabla 6.24 Valores de la presión de diseño de 1 a 23 metros de altura, sobre la pared a barlovento.

Para paredes laterales:

Altura, z [m]	Pz, Paredes Laterales [N/m ²]
1-10.0	-83.574
11.0	-85.108
12.0	-86.536
13.0	-87.872
14.0	-89.130

Tabla 6.25 Valores de presión de diseño calculados de 1 a 23 metros de altura sobre las paredes laterales.

Mientras que para la pared a sotavento y para la cubierta los valores de la presión del viento por efectos estáticos y dinámicos quedan iguales ya que el factor de amplificación dinámica es igual a 1.

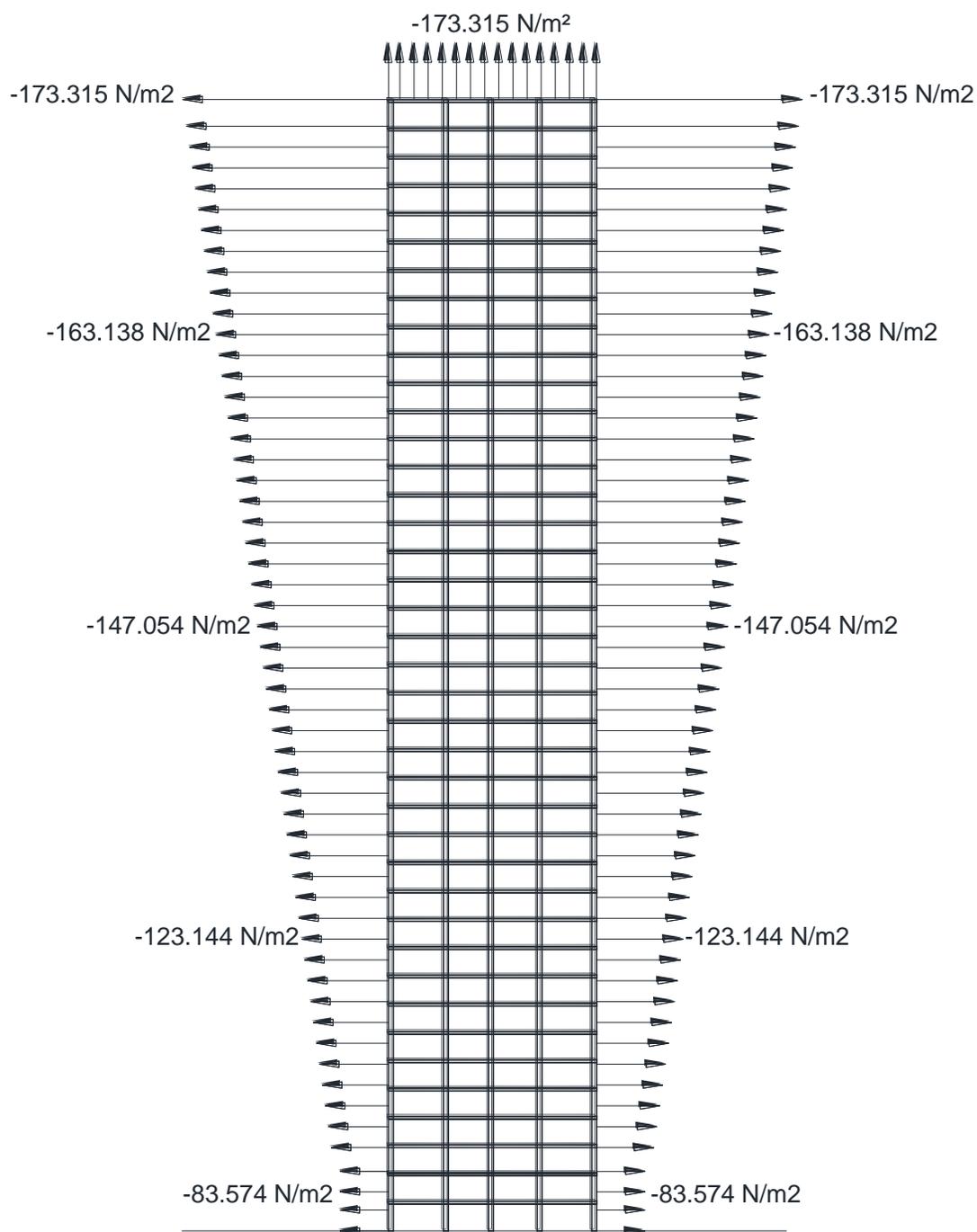


Figura 6.11 Carga distribuida de viento en paredes laterales (izq. y der.) y Cubierta (sup.).

7 CAPÍTULO VII

7.1 Aplicación del método analítico de la norma Peruana E020 para el cálculo de la presión de viento.

7.1.1 Primer edificio de estudio: Quito, Ecuador.

El tercer método utilizado fue el propuesto por la Norma Peruana E020 en su Sección de cargas, específicamente en el Artículo 12 (Cargas Debido al Viento). Este método se describe a continuación.

Como primer punto se debe realizar la clasificación de las edificaciones. Según la Sección 12.2 de la norma peruana de la construcción se cuenta con 3 tipos de edificaciones: las Tipo 1 que corresponde a las edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría; las Tipo 2 que corresponde a las edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados, anuncios y a estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento; y las Tipo 3 que corresponde a edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales como domos o cubiertas colgantes (Instituto de Construcción y Gerencia, 2006).

En este caso se determinó una clasificación del Tipo 1 ya que el edificio en estudio tiene una estructura regular, es de mediana altura y no es esbelto. Esta clasificación sirvió como pauta para proceder a calcular la velocidad de diseño, aplicando la siguiente ecuación presentada en la Sección 12.3 de la presente norma:

$$V_h = V \left(\frac{h}{10} \right)^{0.22} \quad \text{Ecuación 7.1}$$

Dónde:

V_h es la velocidad de diseño en la altura h en km/h.

V es la velocidad de diseño hasta 10 m de altura en Km/h.

H es la altura sobre el terreno en metros.

La velocidad de diseño para viento obtenida a partir de los registros para la zona de estudio es de 16.685 m/s para un período de retorno de 50 años como se puede apreciar en el capítulo 4 de este documento. Sin embargo, este valor no puede ser utilizado ya que la norma especifica que no se debe tomar una velocidad de diseño menor a 75 km/h o 21 m/s. Complementariamente, la altura sobre el terreno se fue tomando en intervalos de 1 metro hasta completar la altura total de la estructura. Al aplicar estos valores en la Ecuación 7.1 se obtiene:

Altura [m]	V_h [km/h]	Altura [m]	V_h [km/h]
1	45.192	17	84.287
2	52.637	18	85.353
3	57.548	19	86.375
4	61.308	20	87.355
5	64.392	21	88.298
6	67.028	22	89.206
7	69.340	23	90.083
8	71.407	24	90.930
9	73.282	25	91.750
10	75.000	26	92.546
11	76.589	27	93.317
12	78.069	28	94.067
13	79.456	29	94.796
14	80.762	30	95.505
15	81.998	31	96.197
16	83.170	31.92	96.818

Tabla 7.1 Valores de V_h calculados para distintas alturas de la edificación.

Posteriormente, se procedió a calcular la carga exterior de viento suponiendo que es estática y perpendicular a la superficie sobre la cual actúa aplicando la siguiente ecuación presentada en la Sección 12.4 de la presente norma:

$$P_h = 0.005 C V_h^2 \quad \text{Ecuación 7.2}$$

Donde:

P_h es la presión del viento a una altura h .

C es el factor de forma adimensional.

V_h es la velocidad de diseño a la altura h ya definida.

Los coeficientes del factor de forma se tomaron de la siguiente tabla, presentada en la misma Sección 12.4 menciona anteriormente:

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0.8	-0.6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular.	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	±0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos.	+0.3-0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°.	+0.7-0.3	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical.	+0.8	-0.6
Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelas a la dirección del viento	-0.7	-0.7
*El signo positivo indica presión y el negativo succión.		

Tabla 7.2 Factor de forma.

De la Tabla 7.2 se determinó que para superficies verticales de edificios, los factores de forma (C) para Barlovento y Sotavento son +0.8 y -0.6 respectivamente. Al aplicar estos factores en la Ecuación 7.2 se puede obtener la presión (Barlovento) y la succión (Sotavento) del viento:

Altura [m]	PhBarlovento [kgf/m²] C=+0.8	PhSotavento [kgf/m²] C=-0.6
1	8.169	-6.127
2	11.082	-8.312
3	13.247	-9.935
4	15.034	-11.276
5	16.586	-12.439
6	17.971	-13.478
7	19.232	-14.424
8	20.396	-15.297
9	21.481	-16.111
10	22.500	-16.875
11	23.464	-17.598
12	24.379	-18.285
13	25.253	-18.940
14	26.090	-19.568
15	26.894	-20.171
16	27.669	-20.752
17	28.417	-21.313
18	29.141	-21.856
19	29.842	-22.382
20	30.524	-22.893
21	31.186	-23.389
22	31.831	-23.873
23	32.460	-24.345
24	33.073	-24.805
25	33.673	-25.254
26	34.259	-25.694
27	34.832	-26.124
28	35.394	-26.546
29	35.945	-26.959

30	36.485	-27.364
31	37.015	-27.761
31.92	37.495	-28.121

Tabla 7.3 Valores de Ph calculados a distintas alturas.

Los valores obtenidos en la Tabla 7.3 se los multiplica por un factor de 9.80665 para transformarlos de Kgf/m² a N/m², obteniendo:

Altura [m]	Ph Barlovento [N/m²] C=+0.8	Ph Sotavento [N/m²] C=-0.6
1	80.113	-60.085
2	108.682	-81.511
3	129.908	-97.431
4	147.438	-110.579
5	162.648	-121.986
6	176.234	-132.176
7	188.602	-141.452
8	200.015	-150.011
9	210.654	-157.991
10	220.650	-165.487
11	230.100	-172.575
12	239.080	-179.310
13	247.650	-185.737
14	255.858	-191.894
15	263.744	-197.808
16	271.341	-203.506
17	278.677	-209.008
18	285.774	-214.331
19	292.654	-219.491
20	299.334	-224.501
21	305.830	-229.372
22	312.154	-234.116
23	318.320	-238.740
24	324.337	-243.253
25	330.215	-247.661
26	335.963	-251.972
27	341.589	-256.191
28	347.098	-260.324
29	352.499	-264.375
30	357.797	-268.348

31	362.996	-272.247
31.92	367.698	-275.773

Tabla 7.4 Valores de Ph calculados en N/m².

Por otro lado, para superficies verticales o inclinadas paralelas a la dirección del viento (cubierta o techo), los factores de forma (C) para Barlovento y Sotavento son - 0.7 para ambos casos. Al aplicar estos factores en la Ecuación 7.2 se puede obtener la presión (Barlovento) y la succión (Sotavento) del viento:

Altura [m]	PhBarlovento [kgf/m ²] C=-0.7	PhSotavento [kgf/m ²] C=-0.7
31.92	-32.808	-32.808

Tabla 7.5 Valores de Ph para la cubierta, tanto para barlovento como para sotavento.

Los valores obtenidos en la Tabla 7.4 se los multiplica por un factor de 9.80665 para transformarlos de Kgf/m² a N/m², obteniendo:

Altura [m]	PhBarlovento [N/m ²] C=-0.7	PhSotavento [N/m ²] C=-0.7
31.92	-321.735	-321.735

Tabla 7.6 Valores de Ph para la cubierta, tanto para barlovento como para sotavento, en N/m²

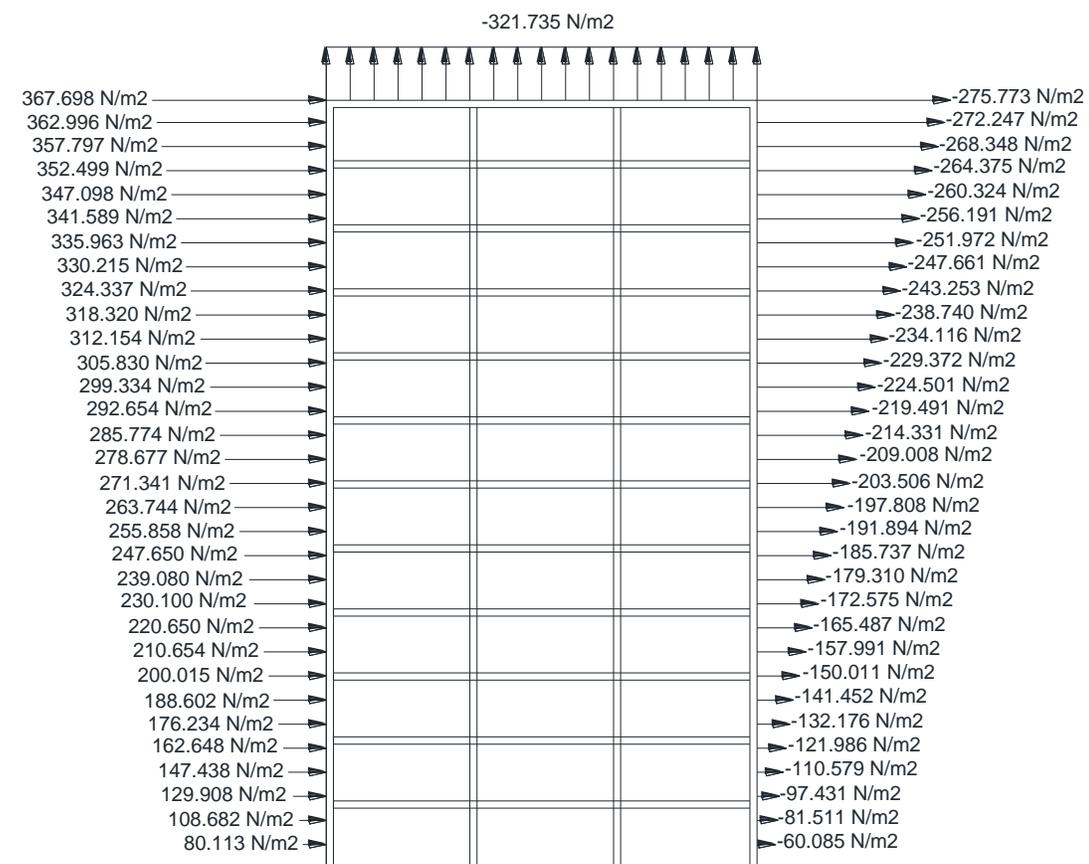


Figura 7.1 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).

7.1.2 Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador.

Ahora se realizará el análisis de la misma estructura para la ciudad de Guayaquil.

Para determinar a qué tipo de edificación pertenece se analizan los mismos parámetros de la clasificación presentada anteriormente, concluyendo que se trata de una edificación del Tipo 1, por las razones antes mencionadas (Sección 7.1.1).

La velocidad de diseño obtenida en base a los registros de la zona de estudio (centro de Guayaquil, Parroquia Pedro Carbo), es de 14.728 m/s para un período de retorno de 50 años según lo mostrado en el capítulo 4. Sin embargo, se debe tomar en cuenta que la norma peruana especifica que la velocidad de diseño no puede ser menor a 75 km/h o 21 m/s. Esto en conjunto con las condiciones del medio hace que el cálculo y los resultados sean los mismos para ambas ciudades. Aplicando la Ecuación 7.1 con los mismos parámetros antes mencionados, se obtiene:

Altura [m]	Vh [km/h]	Altura [m]	Vh [km/h]
1	45.192	17	84.287
2	52.637	18	85.353
3	57.548	19	86.375
4	61.308	20	87.355
5	64.392	21	88.298
6	67.028	22	89.206
7	69.340	23	90.083
8	71.407	24	90.930
9	73.282	25	91.750
10	75.000	26	92.546
11	76.589	27	93.317
12	78.069	28	94.067
13	79.456	29	94.796
14	80.762	30	95.505
15	81.998	31	96.197
16	83.170	31.92	96.818

Tabla 7.7 Resultados de Vh para distintas alturas.

Para el cálculo de la presión exterior de viento (Ecuación 7.2) se utiliza los mismos coeficientes para el factor de forma presentados en la Tabla 7.2, obteniendo:

Altura [m]	Ph Barlovento [N/m²] C=+0.8	Ph Sotavento [N/m²] C=-0.6
1	80.113	-60.085
2	108.682	-81.511
3	129.908	-97.431
4	147.438	-110.579
5	162.648	-121.986
6	176.234	-132.176
7	188.602	-141.452
8	200.015	-150.011
9	210.654	-157.991
10	220.650	-165.487
11	230.100	-172.575
12	239.080	-179.310
13	247.650	-185.737
14	255.858	-191.894
15	263.744	-197.808
16	271.341	-203.506
17	278.677	-209.008
18	285.774	-214.331
19	292.654	-219.491
20	299.334	-224.501
21	305.830	-229.372
22	312.154	-234.116
23	318.320	-238.740
24	324.337	-243.253
25	330.215	-247.661
26	335.963	-251.972
27	341.589	-256.191
28	347.098	-260.324
29	352.499	-264.375
30	357.797	-268.348
31	362.996	-272.247
31.92	367.698	-275.773

Tabla 7.8 Valores de las presiones para barlovento, sotavento.

Mientras que la presión (Barlovento) y succión (Sotavento) para superficies verticales o inclinadas paralelas a la dirección del viento (cubierta o techo):

Altura [m]	PhBarlovento [N/m ²] C=-0.7	PhSotavento [N/m ²] C=-0.7
31.92	-321.735	-321.735

Tabla 7.9 Valores de presión de viento sobre la cubierta, a barlovento y sotavento.

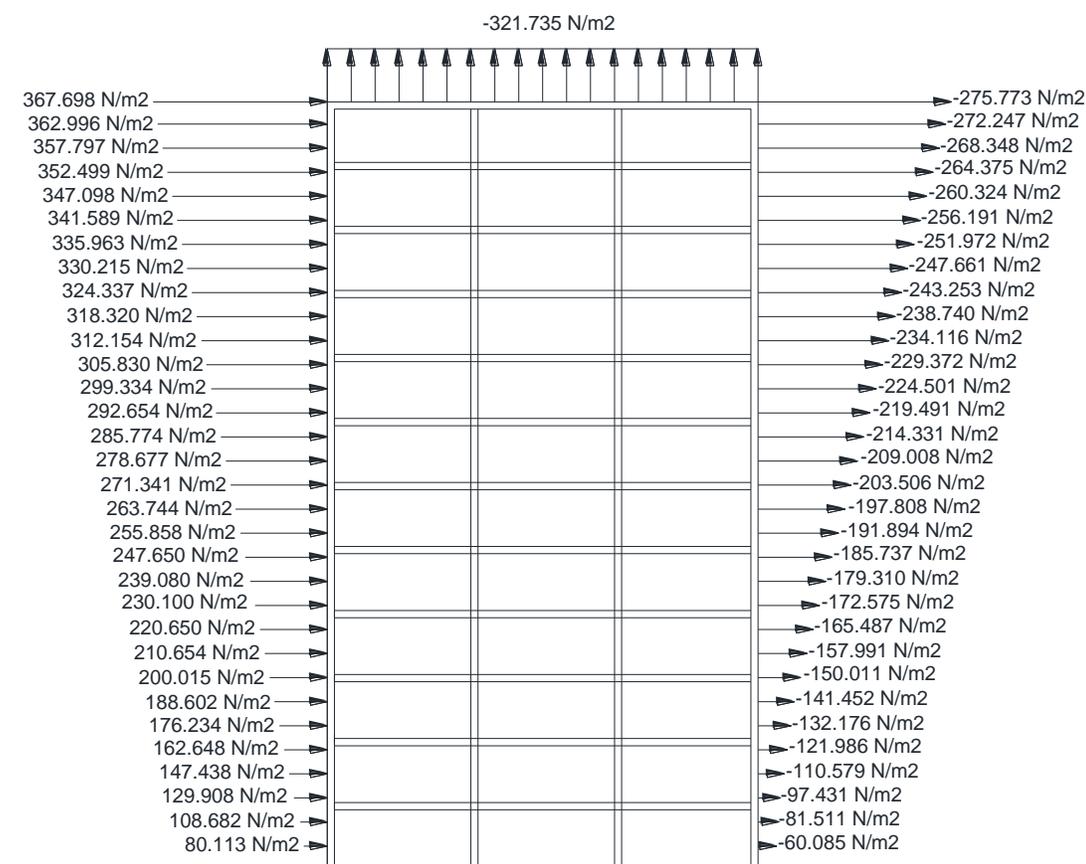


Figura 7.2 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).

7.1.1 Segundo edificio de estudio: SwissTowers.

Ahora se realizará el análisis para una de las torres del complejo hotelero Swiss Tower, en la ciudad de Guayaquil. Para determinar a qué tipo de edificación pertenece se analizan los mismos parámetros de la clasificación presentada en la sección anterior para la ciudad de Quito (Sección 7.1.1), concluyendo que se trata de una edificación del Tipo 2, por ser una estructura esbelta debido a su altura (190 metros).

Se tomaría la misma velocidad de diseño registrada para el centro de Guayaquil, pero como ya se aclaró la norma menciona que este valor no puede ser menor a 21 m/s. Aplicando estos parámetros en la Ecuación 7.1, se obtiene:

Altura [m]	Vh [km/h]						
1.0	45.192	51.0	107.331	101.0	124.742	151.0	136.281
2.0	52.637	52.0	107.791	102.0	125.012	152.0	136.479
3.0	57.548	53.0	108.244	103.0	125.281	153.0	136.676
4.0	61.308	54.0	108.690	104.0	125.548	154.0	136.872
5.0	64.392	55.0	109.129	105.0	125.812	155.0	137.067
6.0	67.028	56.0	109.563	106.0	126.075	156.0	137.261
7.0	69.340	57.0	109.990	107.0	126.336	157.0	137.455
8.0	71.407	58.0	110.412	108.0	126.594	158.0	137.647
9.0	73.282	59.0	110.828	109.0	126.851	159.0	137.838
10.0	75.000	60.0	111.238	110.0	127.106	160.0	138.028
11.0	76.589	61.0	111.644	111.0	127.360	161.0	138.217
12.0	78.069	62.0	112.044	112.0	127.611	162.0	138.406
13.0	79.456	63.0	112.439	113.0	127.861	163.0	138.593
14.0	80.762	64.0	112.829	114.0	128.109	164.0	138.780
15.0	81.998	65.0	113.215	115.0	128.356	165.0	138.966
16.0	83.170	66.0	113.595	116.0	128.600	166.0	139.151
17.0	84.287	67.0	113.972	117.0	128.843	167.0	139.335
18.0	85.353	68.0	114.344	118.0	129.085	168.0	139.518
19.0	86.375	69.0	114.712	119.0	129.325	169.0	139.700
20.0	87.355	70.0	115.075	120.0	129.563	170.0	139.881

21.0	88.298	71.0	115.435	121.0	129.800	171.0	140.062
22.0	89.206	72.0	115.791	122.0	130.035	172.0	140.242
23.0	90.083	73.0	116.143	123.0	130.269	173.0	140.421
24.0	90.930	74.0	116.491	124.0	130.501	174.0	140.599
25.0	91.750	75.0	116.835	125.0	130.732	175.0	140.776
26.0	92.546	76.0	117.176	126.0	130.961	176.0	140.953
27.0	93.317	77.0	117.514	127.0	131.189	177.0	141.129
28.0	94.067	78.0	117.848	128.0	131.416	178.0	141.304
29.0	94.796	79.0	118.179	129.0	131.641	179.0	141.478
30.0	95.505	80.0	118.506	130.0	131.865	180.0	141.652
31.0	96.197	81.0	118.831	131.0	132.087	181.0	141.824
32.0	96.871	82.0	119.152	132.0	132.308	182.0	141.996
33.0	97.529	83.0	119.470	133.0	132.528	183.0	142.168
34.0	98.172	84.0	119.785	134.0	132.747	184.0	142.338
35.0	98.800	85.0	120.097	135.0	132.964	185.0	142.508
36.0	99.414	86.0	120.407	136.0	133.180	186.0	142.677
37.0	100.015	87.0	120.713	137.0	133.395	187.0	142.845
38.0	100.604	88.0	121.017	138.0	133.609	188.0	143.013
39.0	101.180	89.0	121.319	139.0	133.821	189.0	143.180
40.0	101.745	90.0	121.617	140.0	134.032	190.0	143.346
41.0	102.300	91.0	121.913	141.0	134.242		
42.0	102.843	92.0	122.207	142.0	134.451		
43.0	103.377	93.0	122.498	143.0	134.659		
44.0	103.901	94.0	122.786	144.0	134.866		
45.0	104.416	95.0	123.072	145.0	135.071		
46.0	104.922	96.0	123.356	146.0	135.275		
47.0	105.420	97.0	123.638	147.0	135.479		
48.0	105.909	98.0	123.917	148.0	135.681		
49.0	106.391	99.0	124.194	149.0	135.882		
50.0	106.865	100.0	124.469	150.0	136.082		

Tabla 7.10 Resultados para Vh a distintas alturas de la torre en estudio.

Para el cálculo de la presión exterior de viento se utiliza los mismos coeficientes para el factor de forma presentados en la Tabla 7.2. En este caso la presión debe ser multiplicada por 1.2 debido al tipo de edificación según lo especificado en la norma peruana. Además se multiplica por el factor 9.80665 para obtener la presión o succión del viento en N/m²:

Altura [m]	Ph Barlovento [N/m²] C=+0.8	Altura [m]	Ph Barlovento [N/m²] C=+0.8	Altura [m]	Ph Barlovento [N/m²] C=+0.8
1.0	96.136	66.0	607.413	131.0	821.266
2.0	130.418	67.0	611.445	132.0	824.019
3.0	155.890	68.0	615.444	133.0	826.759
4.0	176.926	69.0	619.410	134.0	829.489
5.0	195.178	70.0	623.344	135.0	832.207
6.0	211.481	71.0	627.246	136.0	834.914
7.0	226.322	72.0	631.118	137.0	837.609
8.0	240.018	73.0	634.960	138.0	840.294
9.0	252.785	74.0	638.773	139.0	842.968
10.0	264.780	75.0	642.557	140.0	845.631
11.0	276.120	76.0	646.312	141.0	848.283
12.0	286.896	77.0	650.040	142.0	850.925
13.0	297.180	78.0	653.742	143.0	853.557
14.0	307.030	79.0	657.416	144.0	856.178
15.0	316.493	80.0	661.065	145.0	858.789
16.0	325.610	81.0	664.688	146.0	861.390
17.0	334.412	82.0	668.286	147.0	863.981
18.0	342.929	83.0	671.860	148.0	866.562
19.0	351.185	84.0	675.410	149.0	869.133
20.0	359.201	85.0	678.936	150.0	871.695
21.0	366.996	86.0	682.439	151.0	874.247
22.0	374.585	87.0	685.919	152.0	876.790
23.0	381.984	88.0	689.377	153.0	879.323
24.0	389.204	89.0	692.813	154.0	881.848
25.0	396.258	90.0	696.227	155.0	884.363
26.0	403.156	91.0	699.621	156.0	886.869
27.0	409.906	92.0	702.993	157.0	889.366

28.0	416.518	93.0	706.345	158.0	891.854
29.0	422.999	94.0	709.677	159.0	894.333
30.0	429.356	95.0	712.989	160.0	896.803
31.0	435.596	96.0	716.282	161.0	899.265
32.0	441.723	97.0	719.555	162.0	901.719
33.0	447.745	98.0	722.810	163.0	904.164
34.0	453.665	99.0	726.046	164.0	906.600
35.0	459.488	100.0	729.263	165.0	909.028
36.0	465.219	101.0	732.463	166.0	911.448
37.0	470.862	102.0	735.645	167.0	913.860
38.0	476.419	103.0	738.810	168.0	916.264
39.0	481.895	104.0	741.958	169.0	918.660
40.0	487.294	105.0	745.088	170.0	921.047
41.0	492.617	106.0	748.202	171.0	923.427
42.0	497.868	107.0	751.300	172.0	925.800
43.0	503.049	108.0	754.381	173.0	928.164
44.0	508.164	109.0	757.447	174.0	930.521
45.0	513.213	110.0	760.497	175.0	932.870
46.0	518.201	111.0	763.531	176.0	935.212
47.0	523.127	112.0	766.550	177.0	937.546
48.0	527.996	113.0	769.554	178.0	939.873
49.0	532.808	114.0	772.543	179.0	942.193
50.0	537.565	115.0	775.517	180.0	944.505
51.0	542.270	116.0	778.477	181.0	946.810
52.0	546.923	117.0	781.423	182.0	949.108
53.0	551.526	118.0	784.355	183.0	951.400
54.0	556.081	119.0	787.273	184.0	953.684
55.0	560.588	120.0	790.177	185.0	955.961
56.0	565.050	121.0	793.067	186.0	958.231
57.0	569.468	122.0	795.944	187.0	960.494
58.0	573.843	123.0	798.809	188.0	962.751
59.0	578.175	124.0	801.660	189.0	965.001
60.0	582.467	125.0	804.498	190.0	967.244
61.0	586.718	126.0	807.323		
62.0	590.931	127.0	810.136		
63.0	595.106	128.0	812.937		
64.0	599.244	129.0	815.725		
65.0	603.346	130.0	818.502		

Tabla 7.11 Resultados de Ph para barlovento a distintas alturas.

Altura [m]	Ph Sotavento [N/m2] C=-0.6	Altura [m]	Ph Sotavento [N/m2] C=-0.6	Altura [m]	Ph Sotavento [N/m2] C=-0.6
1.0	-72.102	66.0	-455.559	131.0	-615.949
2.0	-97.814	67.0	-458.584	132.0	-618.014
3.0	-116.917	68.0	-461.583	133.0	-620.070
4.0	-132.694	69.0	-464.557	134.0	-622.117
5.0	-146.384	70.0	-467.508	135.0	-624.155
6.0	-158.611	71.0	-470.435	136.0	-626.185
7.0	-169.742	72.0	-473.339	137.0	-628.207
8.0	-180.014	73.0	-476.220	138.0	-630.220
9.0	-189.589	74.0	-479.080	139.0	-632.226
10.0	-198.585	75.0	-481.917	140.0	-634.223
11.0	-207.090	76.0	-484.734	141.0	-636.212
12.0	-215.172	77.0	-487.530	142.0	-638.194
13.0	-222.885	78.0	-490.306	143.0	-640.167
14.0	-230.272	79.0	-493.062	144.0	-642.133
15.0	-237.370	80.0	-495.799	145.0	-644.092
16.0	-244.207	81.0	-498.516	146.0	-646.042
17.0	-250.809	82.0	-501.215	147.0	-647.986
18.0	-257.197	83.0	-503.895	148.0	-649.921
19.0	-263.389	84.0	-506.557	149.0	-651.850
20.0	-269.401	85.0	-509.202	150.0	-653.771
21.0	-275.247	86.0	-511.829	151.0	-655.685
22.0	-280.939	87.0	-514.439	152.0	-657.593
23.0	-286.488	88.0	-517.033	153.0	-659.493
24.0	-291.903	89.0	-519.610	154.0	-661.386
25.0	-297.194	90.0	-522.171	155.0	-663.272
26.0	-302.367	91.0	-524.716	156.0	-665.151
27.0	-307.430	92.0	-527.245	157.0	-667.024
28.0	-312.389	93.0	-529.759	158.0	-668.890
29.0	-317.249	94.0	-532.258	159.0	-670.750
30.0	-322.017	95.0	-534.742	160.0	-672.603
31.0	-326.697	96.0	-537.211	161.0	-674.449
32.0	-331.293	97.0	-539.666	162.0	-676.289
33.0	-335.809	98.0	-542.107	163.0	-678.123
34.0	-340.249	99.0	-544.534	164.0	-679.950
35.0	-344.616	100.0	-546.948	165.0	-681.771
36.0	-348.914	101.0	-549.347	166.0	-683.586
37.0	-353.146	102.0	-551.734	167.0	-685.395

38.0	-357.314	103.0	-554.108	168.0	-687.198
39.0	-361.422	104.0	-556.468	169.0	-688.995
40.0	-365.470	105.0	-558.816	170.0	-690.786
41.0	-369.463	106.0	-561.152	171.0	-692.571
42.0	-373.401	107.0	-563.475	172.0	-694.350
43.0	-377.287	108.0	-565.786	173.0	-696.123
44.0	-381.123	109.0	-568.085	174.0	-697.891
45.0	-384.910	110.0	-570.372	175.0	-699.653
46.0	-388.650	111.0	-572.648	176.0	-701.409
47.0	-392.346	112.0	-574.912	177.0	-703.160
48.0	-395.997	113.0	-577.165	178.0	-704.905
49.0	-399.606	114.0	-579.407	179.0	-706.645
50.0	-403.174	115.0	-581.638	180.0	-708.379
51.0	-406.702	116.0	-583.858	181.0	-710.108
52.0	-410.192	117.0	-586.067	182.0	-711.831
53.0	-413.644	118.0	-588.266	183.0	-713.550
54.0	-417.060	119.0	-590.454	184.0	-715.263
55.0	-420.441	120.0	-592.632	185.0	-716.970
56.0	-423.788	121.0	-594.800	186.0	-718.673
57.0	-427.101	122.0	-596.958	187.0	-720.371
58.0	-430.382	123.0	-599.106	188.0	-722.063
59.0	-433.631	124.0	-601.245	189.0	-723.751
60.0	-436.850	125.0	-603.373	190.0	-725.433
61.0	-440.039	126.0	-605.492		
62.0	-443.198	127.0	-607.602		
63.0	-446.329	128.0	-609.703		
64.0	-449.433	129.0	-611.794		
65.0	-452.509	130.0	-613.876		

Tabla 7.12 Resultados de Ph para sotavento a distintas alturas.

Mientras que la presión (Barlovento) y succión (Sotavento) para superficies verticales o inclinadas paralelas a la dirección del viento (techo):

Altura [m]	PhBarlovento [N/m ²] C=-0.7	PhSotavento [N/m ²] C=-0.7
190	-846.338	-846.338

Tabla 7.13 Resultados de Ph para la cubierta a barlovento y sotavento.

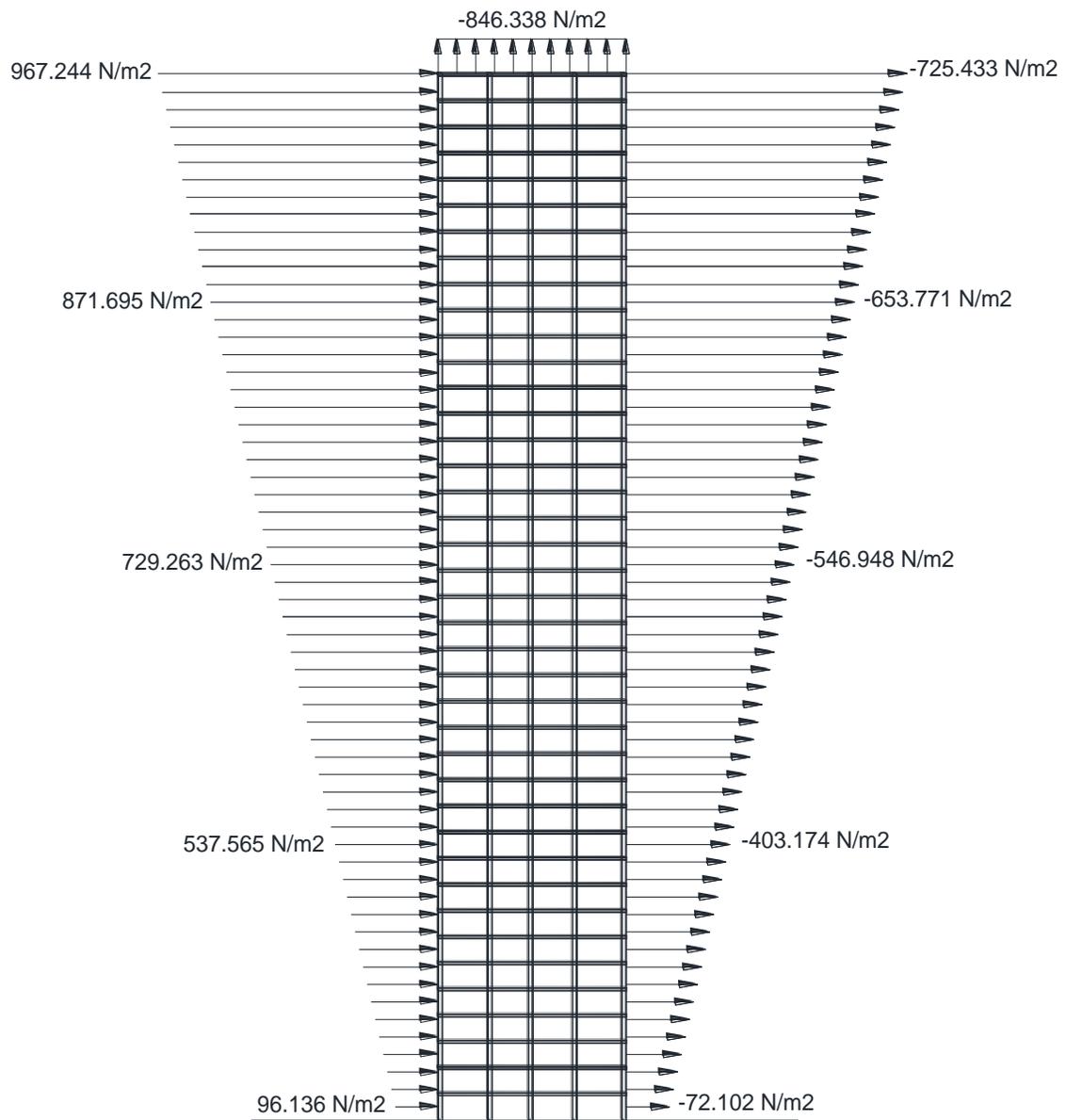


Figura 7.3 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.), Sotavento (der.) y Cubierta (sup.).

8 CAPÍTULO VIII

8.1 Aplicación de la Norma Ecuatoriana para la Construcción (NEC-11) en el cálculo de la presión de viento.

8.1.1 Primer edificio de estudio: Quito, Ecuador.

Lo primero que se debe determinar es la categoría a la que pertenece el edificio de estudio; estas categorías son: categoría A (edificios frente al mar, zonas rurales o espacios abiertos sin obstáculos topográficos), categoría B (edificios en zonas suburbanas con edificación de baja altura, promedio hasta 10 m) y categoría C (zonas urbanas con edificios de altura) (NEC-11, 2011). Luego, se procede a seleccionar el factor de corrección, que es un factor que considera la altura del edificio y las características topográficas y/o edificación del entorno. Este factor se obtiene de la Tabla 8.1 extraída de la Sección 1.1.5 de la norma ecuatoriana:

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Tabla 8.1 Coeficiente de corrección, σ .

En este caso se seleccionó la categoría C correspondiente a zonas urbanas con edificaciones de altura, debido a que este edificio de estudio se encuentra al norte de la ciudad de Quito y tiene una altura de 31.92 m.

Luego se procedió a determinar la velocidad corregida del viento para las diferentes alturas que muestra la Tabla 8.1 en base a la altura del edificio de estudio, aplicando la siguiente ecuación, obtenida de la Sección 1.1.5 de la presente norma:

$$V_b = V \times \sigma \quad \text{Ecuación 8.1}$$

Dónde:

V_b es la velocidad corregida del viento;

V es la velocidad instantánea máxima del viento;

σ es el coeficiente de corrección mostrado en la Tabla 8.1.

La velocidad de diseño para viento obtenida a partir de los registros de la zona de estudio es de 16.685 m/s para un período de retorno de 50 años, valor calculado a partir de lo desarrollado en el capítulo 4 de este documento. Sin embargo, este valor no puede ser utilizado ya que en la norma se menciona que no se puede utilizar una velocidad de diseño menor a 21 m/s, por esto se toma este último valor para el cálculo. Al aplicar los valores seleccionados en la Ecuación 8.1 se obtiene lo siguiente:

Altura [m]	Velocidad Corregida del Viento, V_b [m/s]
5.00	16.80
10.00	16.80
20.00	18.48
31.92	19.48
40.00	20.16

Tabla 8.2 Velocidad corregida de viento.

Luego, se calcula la presión del viento suponiendo que esta actúa sobre el elemento de fachada, con la siguiente ecuación obtenida de la Sección 1.1.5.1 de la NEC:

$$P = \frac{1}{2} \rho V_b^2 C_e C_f \quad \text{Ecuación 8.2}$$

Donde:

P es la presión de cálculo expresada en Pa o N/m²;

ρ es la densidad del aire expresada en Kg/m³;

C_e es el coeficiente de entorno/altura;

C_f es el coeficiente de forma.

En la norma ecuatoriana se menciona que en general se puede adoptar una densidad típica del aire de 1.25 Kg/m³.

El coeficiente de forma C_f, es un factor de corrección que tiene en cuenta la situación del elemento dentro de la fachada y se lo obtiene de la siguiente Tabla 8.3 extraída de la Sección 1.1.5.1 de la NEC:

CONSTRUCCIÓN	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios.	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento.	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica.	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular.	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda de los 45°.	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a los 15° o menos.	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°.	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical.	+0.8	-0.6
El signo positivo (+) indica presión. El signo negativo (-) indica succión.		

Tabla 8.3 Factor de forma, C_f.

De aquí se determina que el coeficiente de forma es $C_f=0.8$, valor que corresponde a superficies verticales de edificios. Mientras que para las superficies inclinadas a los 15 o menos (cubierta) el coeficiente tiene un valor de entre +0.3 a 0 para barlovento y -0.6 para sotavento.

Para determinar el valor del coeficiente de entorno/altura C_e , no se encontró una tabla o un valor dentro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, motivo por el cual se recurrió al uso de una tesis para la obtención del título de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana realizada por Andrea Castillo (Castillo, 2013). Aquí se obtuvo la siguiente tabla:

Construcción	C_e
Elementos situados en patios interiores	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas.	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas.	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros.	1.5

Tabla 8.4 Coeficiente de entorno/altura.

De la Tabla 8.4 se determinó que el coeficiente de entorno es de 0.8 ya que es un elemento en fachada protegida en edificios alineados en calles rectas. Aplicando estos valores en la Ecuación 8.2, para las superficies verticales de edificios (paredes), se obtiene lo siguiente:

Altura [m]	Presión del Viento, P [N/m ²]
5.00	112.896
10.00	112.896
20.00	136.600
31.92	151.788
40.00	162.570

Tabla 8.5 Valores de la presión del viento en barlovento.

Mientras que para el caso de la cubierta (techo) se considera que tiene una inclinación de 0° ya que es un techo plano. Se consideran dos casos: cubierta a barlovento y cubierta a sotavento.

Para la cubierta a barlovento, medida desde la cara de la superficie vertical del edificio a barlovento hasta $h/2$ (1.96 m) en dirección a la cubierta de sotavento; se obtiene, a través de la Ecuación 8.2, lo siguiente:

Altura [m]	Coefficiente de forma, Cf	Presión del Viento, P [N/m ²]
31.92	+0.3	56.921
31.92	0	0

Tabla 8.6 Presión de viento sobre la cubierta, barlovento.

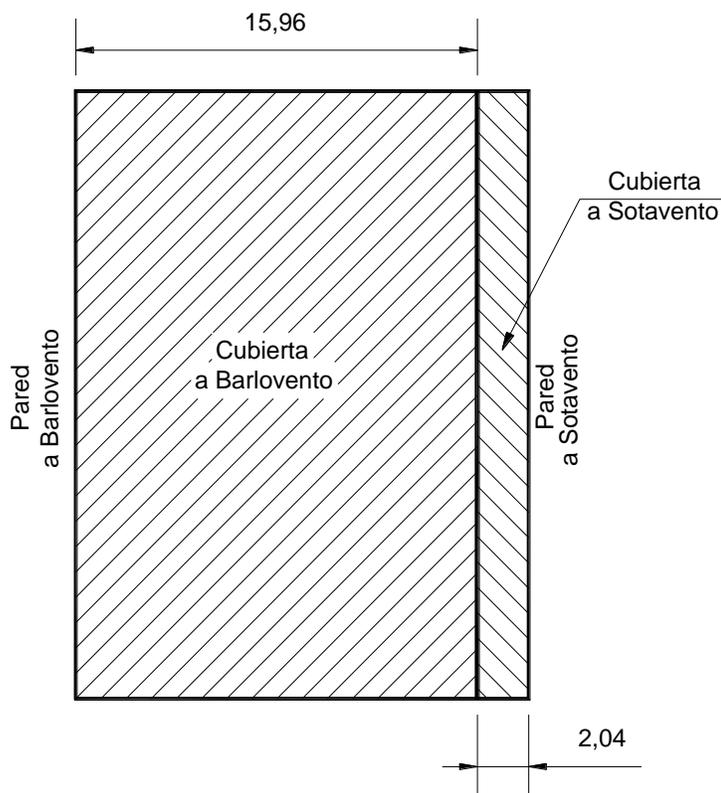


Figura 8.1 Distribución de cargas de viento en la Cubierta.

Mientras que para la cubierta a sotavento, correspondiente a la diferencia restante (2.04 m) figura (1), se obtiene al aplicar la Ecuación 8.2:

Altura [m]	Coficiente de forma, Cf	Presión del Viento, P [N/m ²]
31.92	-0.6	-113.841

Tabla 8.7 Presion de viento sobre la cubierta, sotavento.

Debido a que en la norma ecuatoriana (NEC) no se especifica cuáles son los límites de la cubierta a barlovento y sotavento, se recurrió a la norma ASCE7-10 para poder realizar este análisis.

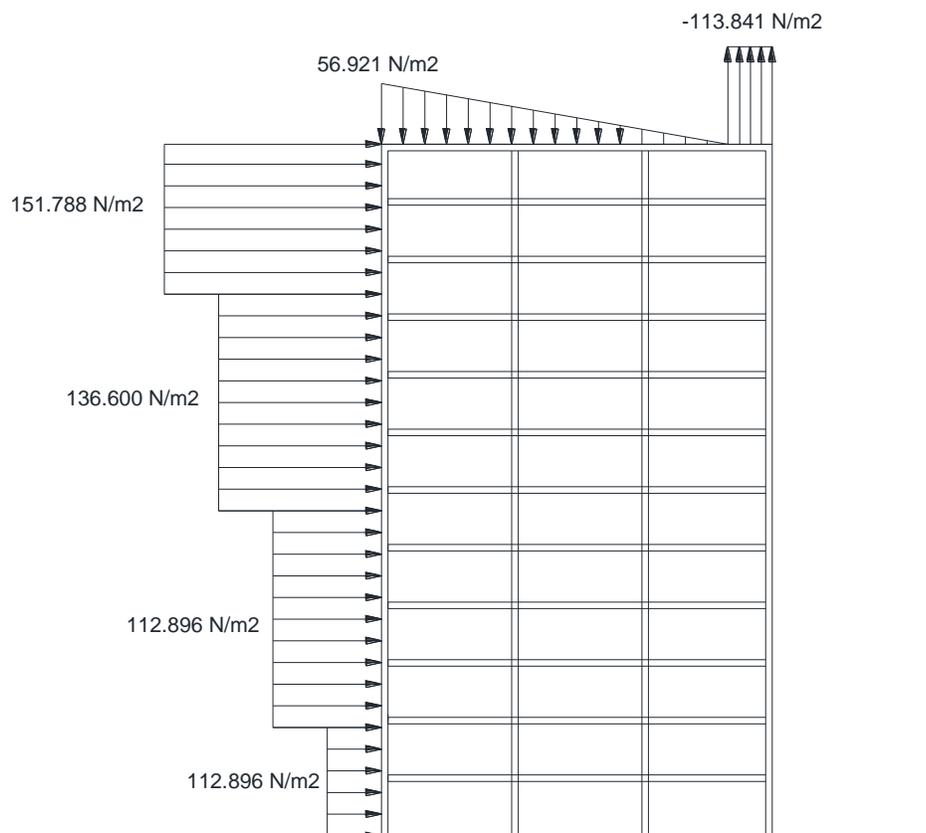


Figura 8.2 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.) y Cubierta (sup.).

8.1.2 Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador.

Ahora se vuelve a aplicar el mismo método propuesto por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) tomando la misma estructura con las mismas características y propiedades pero ahora el estudio se lo realiza para la ciudad de Guayaquil. La velocidad de diseño de viento obtenida en base a los registros para la zona de estudio (centro de Guayaquil, parroquia Pedro Carbo), es de 14.728 m/s para un período de retorno de 50 años según lo que se muestra en el capítulo 4 de este documento. Pero la norma ecuatoriana de construcción especifica que la velocidad de diseño para viento no puede ser menor a 21 m/s. Esto en conjunto con las condiciones del medio hace que el cálculo y los resultados sean los mismos para ambas ciudades.

Se determina que es un edificio correspondiente a la categoría C (zonas urbanas con edificaciones de altura) por lo que al dirigirse a la Tabla 8.1, se observa que los coeficientes de corrección son los mismos que para Quito. Al aplicar estos valores en la Ecuación 8.1 se obtiene:

Altura [m]	Velocidad Corregida del Viento, V_b [m/s]
5.00	16.80
10.00	16.80
20.00	18.48
31.92	19.48
40.00	20.16

Tabla 8.8 Cálculo de la velocidad de viento corregida para la zona de ubicación del edificio.

Para el cálculo de la presión del viento se utilizan los mismos valores para la densidad del aire, coeficiente de forma y coeficiente de entorno/altura; que para el

caso de Quito debido a que las propiedades de la estructura no varían, la zona de ubicación es similar y en la Norma Ecuatoriana se menciona que se puede adoptar una densidad del aire de 1.25 kg/cm³ en para todos los casos. Recurriendo a la Ecuación 8.2 de la Sección 6.1.1, se obtiene:

Para las superficies verticales de edificios (paredes):

Altura [m]	Presión del Viento, P [N/m ²]
5.00	112.896
10.00	112.896
20.00	136.600
31.92	151.788
40.00	162.570

Tabla 8.9 Presión de viento en la pared vertical a barlovento.

Para la cubierta a barlovento:

Altura [m]	Coefficiente de forma, Cf	Presión del Viento, P [N/m ²]
31.92	+0.3	56.921
31.92	0	0

Tabla 8.10 Presión de viento sobre la cubierta, en área de barlovento.

Para la cubierta a sotavento:

Altura [m]	Coefficiente de forma, Cf	Presión del Viento, P [N/m ²]
31.92	-0.6	-113.841

Tabla 8.11 Presión de viento sobre la cubierta, en área de sotavento.

Debido a que en la norma ecuatoriana (NEC) no se especifica cuáles son los límites de la cubierta a barlovento y sotavento, se recurrió a la norma ASCE7-10 para poder realizar este análisis.

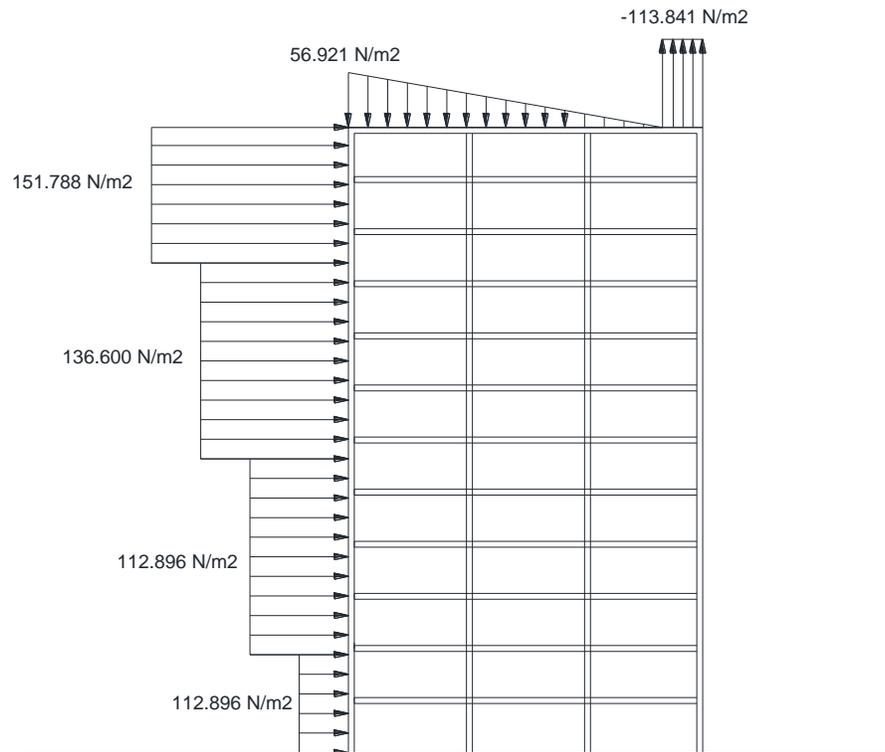


Figura 8.3 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.) y Cubierta (sup.).

8.1.3 Primer edificio de estudio: Guayaquil, Ecuador.

Este edificio debe ser categorizado según los parámetros mencionados en la Sección 8.1.1 de este documento. De las categorías presentadas, se concluye que este edificio corresponde a la categoría C (zonas urbanas con edificios de altura). Luego, se procede a determinar los coeficientes de corrección presentes en la Tabla 8.1 mostrada en la Sección 8.1.1 de este documento. En dicha tabla se puede notar que se cuenta con un coeficiente de corrección solo hasta una altura de 150 metros pero el edificio cuenta con 190 metros. Por esta razón se procede a realizar una extrapolación de los valores para poder obtener un coeficiente de corrección para la altura deseada, obteniendo un coeficiente de 1.25 para una altura de 190 metros.

Como se mencionó anteriormente, la velocidad de diseño para viento medida es la misma que para el caso anterior (14.728 m/s), pero se utiliza un valor de 21 m/s según lo especificado en la norma. Al aplicar los valores seleccionados en la Ecuación 8.1 de la Sección 8.1.1, se obtiene lo siguiente:

Altura [m]	Velocidad Corregida del Viento, V_b [m/s]
5.0	16.80
10.0	16.80
20.0	18.48
40.0	20.16
80.0	22.26
150	24.15
190	26.25

Tabla 8.12 Resultados de velocidad de viento corregida a diferentes niveles de altura.

Para el cálculo de la presión del viento se utiliza la misma densidad del aire y los mismos coeficientes para el factor de forma determinados en la Sección 8.1.2 para la ciudad de Guayaquil. El coeficiente de entorno/altura es obtenido de la Tabla 8.4 presentada en la Sección 8.1.1 de este documento; que en este caso es igual a 1.3, correspondiente a elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas (NEC-11, 2011).

Finalmente, se aplican los valores determinados en la Ecuación 8.2, para las superficies verticales de edificios (paredes), se obtiene lo siguiente:

Altura [m]	Presión del Viento, P [N/m ²]
5.0	183.456
10.0	183.456
20.0	221.982
40.0	264.177
80.0	322.080
150.0	379.095
190.0	447.891

Tabla 8.13 Resultados de la presión de viento a diferentes alturas del edificio.

Por otro lado, como ya se mencionó en la Sección 8.1.1, la cubierta debe ser analizada a barlovento y sotavento.

Aplicando la Ecuación 8.2 de la Sección 8.1.1 para el análisis a barlovento, se obtiene:

Altura [m]	Coficiente de forma, Cf	Presión del Viento, P [N/m ²]
190	+0.3	167.959
190	0	0

Tabla 8.14 Resultados para las presiones de viento actuando en el área de barlovento de la cubierta.

En la sección anterior se mencionó que la cubierta a barlovento se calcula desde la pared a barlovento hasta $h/2$ en dirección de la cubierta a sotavento, en este caso el valor de $h/2$ (95 metros) supera el ancho total de la cubierta por lo que se asume que toda la cubierta está a barlovento. Debido a que la presión del viento en la cubierta disminuye de manera lineal se la calcula a una distancia de 34.26 desde la pared a barlovento (Figura 8.1).

Mientras que para la cubierta a sotavento, se obtiene:

Altura [m]	Coefficiente de forma, Cf	Presión del Viento, P [N/m ²]
190	-0.6	-335.918

Tabla 8.15 Resultado para la presión de viento actuando en el área de sotavento de la cubierta.

Debido a que en la norma ecuatoriana (NEC) no se especifica cuáles son los límites de la cubierta a barlovento y sotavento, se recurrió a la norma ASCE7-10 para poder realizar este análisis.

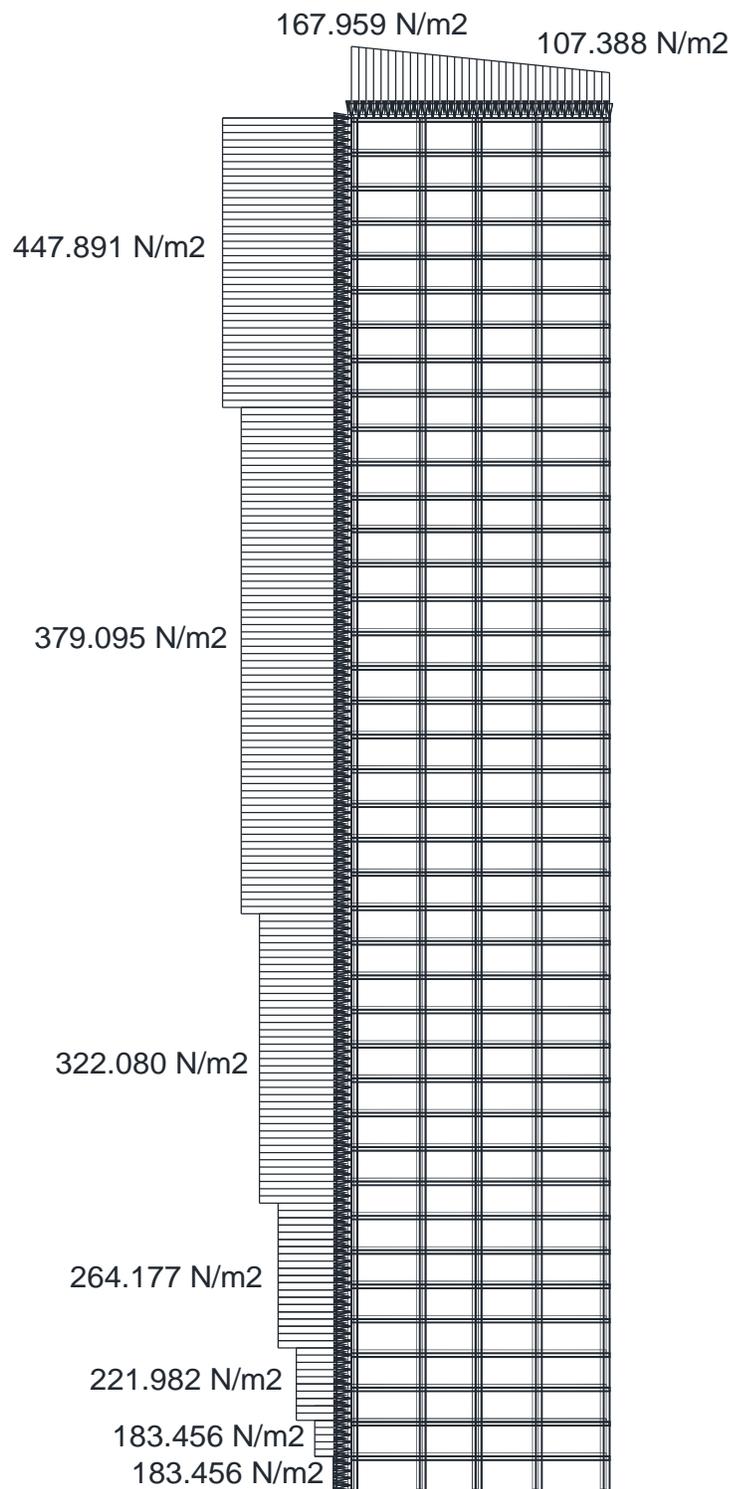


Figura 8.4 Carga distribuida de viento en Barlovento (izq.) y Cubierta (sup.)

9 CAPÍTULO IX

9.1 Análisis y comparación de los códigos utilizados en base a los resultados

9.1.1 Primer edificio de estudio.

El procedimiento general que sigue cada norma es similar pues en todos los casos se debe considerar una velocidad correspondiente a la zona en donde se esté realizando el estudio. Se debe tomar en cuenta la topografía del sitio y la ubicación geográfica de la zona pues estos factores afectan a la velocidad del viento y la forma en la que este afecta a las estructuras. Debido a estas condiciones del medio que llegan a afectar el análisis es que en las normas se presentan factores que sirven para corregir el valor de la velocidad de diseño y permiten ajustar esta velocidad a medida que la altura de la estructura de estudio vaya aumentando. Además en las normas se permite realizar un análisis de cómo afecta el flujo del viento a los diferentes elementos de la estructura, en la mayoría de los casos a las paredes a barlovento y sotavento y a la cubierta de la estructura solamente; pero en las normas mexicana, americana, y colombiana se permite hacer un análisis al efecto de la presión del viento en las paredes laterales de la estructura.

En los resultados presentados en las secciones anteriores de este documento para el edificio de 31.92 metros de altura tanto para Quito como para Guayaquil se puede apreciar que los valores de la presión dependen no solo de la velocidad medida en la zona sino que también de los diferentes factores utilizados para corregir dicha velocidad y del elemento que se esté analizando. A continuación se presenta el Gráfico 9.1 que muestra los resultados obtenidos para la presión del viento en la

pared de barlovento del edificio ubicado en la ciudad de Quito para los cinco códigos empleados:

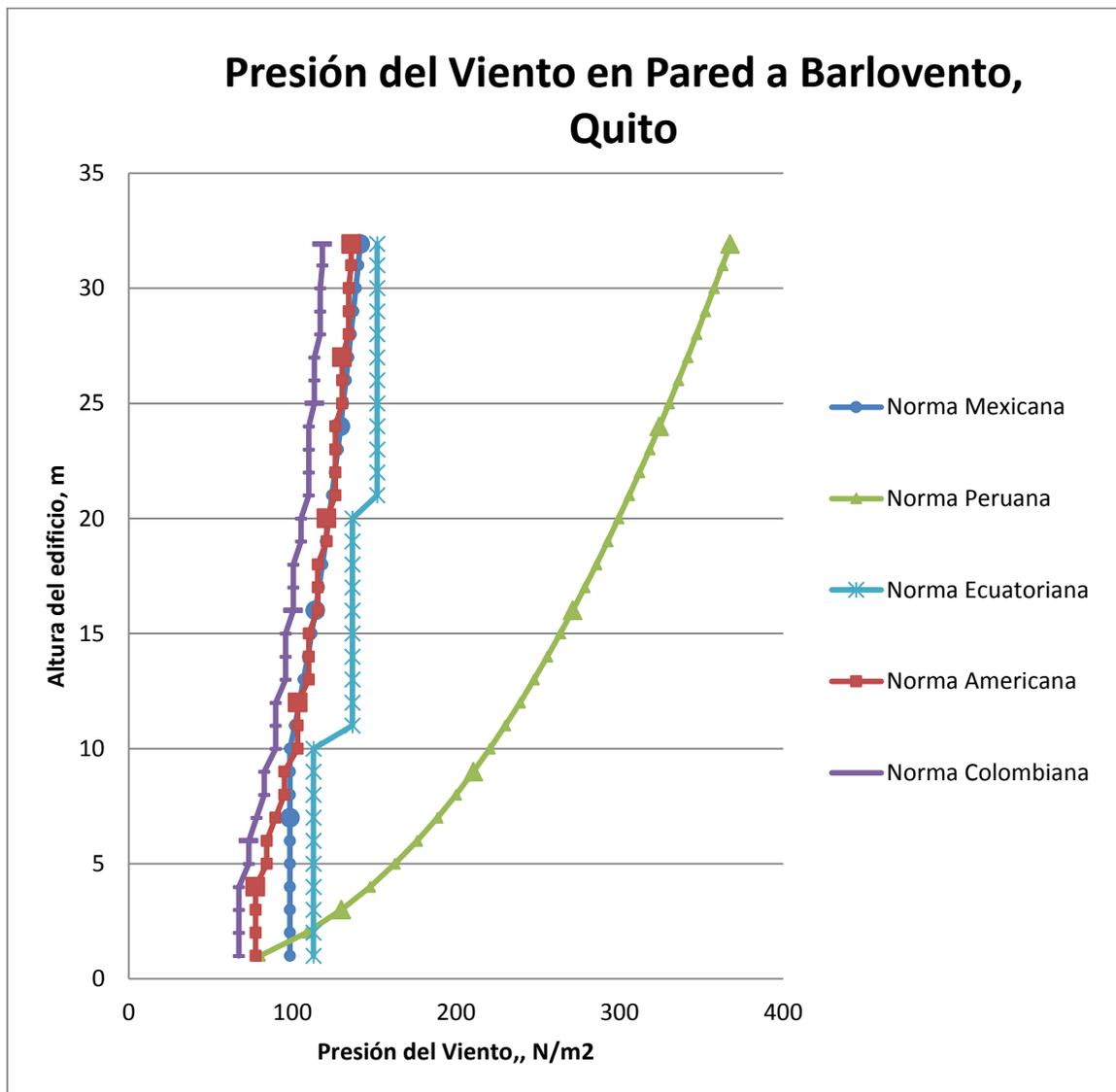


Gráfico 9.1 Resultados de presión de viento sobre barlovento a distintas alturas del edificio

De este gráfico se puede apreciar que el caso en el que la presión del viento es mayor es para la presión calculada a través de la Norma Peruana para la Construcción, con un valor de 367.698 N/m² a una altura de 31.92 metros. Mientras que el menor valor de presión de viento en la pared de barlovento fue el obtenido con

la norma colombiana, 118.313 N/m^2 a una altura de 31.92 metros. Además, en el Gráfico 9.1 se puede apreciar que las curvas obtenidas con las normas colombiana, ecuatoriana, mexicana y americana están próximas entre sí e incluso las curvas de la norma americana y mexicana se superponen en ciertos tramos. Esta diferencia entre los valores obtenidos para la presión del viento para las diferentes normas se debe a que la velocidad del viento medida en la zona es distinta pues para Ecuador y Perú no se puede tomar un valor menor a 21 m/s para la velocidad del viento de la zona, para Estados Unidos y Colombia depende de la categoría de riesgo del edificio, lo que le otorga una cierta probabilidad de excedencia a la cual debe ser analizada la estructura. Mientras que en la norma mexicana se utiliza un valor correspondiente a un período de retorno de 50 años. En el Gráfico 9.1 se puede apreciar también que la curva obtenida con la norma peruana está muy separada de las otras, esto se debe a los factores que se utilizan para hallar la presión del viento, además de que la magnitud de esta fuerza se obtiene en unidades distintas a las otras normas y al transformar a las mismas unidades, el resultado aumentó considerablemente. Por esto, es importante recalcar que los diferentes factores como los que involucran el tipo de estructura, tipo de topografía de la zona, la rugosidad del terreno, factores para la variación de la altura, entre otros; junto con las distintas velocidades utilizadas; los que hicieron que se hayan obtenido presiones de viento distintas al emplear las normas.

A continuación, se muestra el Gráfico 9.2 correspondiente a la presión de viento obtenida para la pared de barlovento del edificio de 31.92 metros pero esta vez ubicado en la ciudad de Guayaquil:

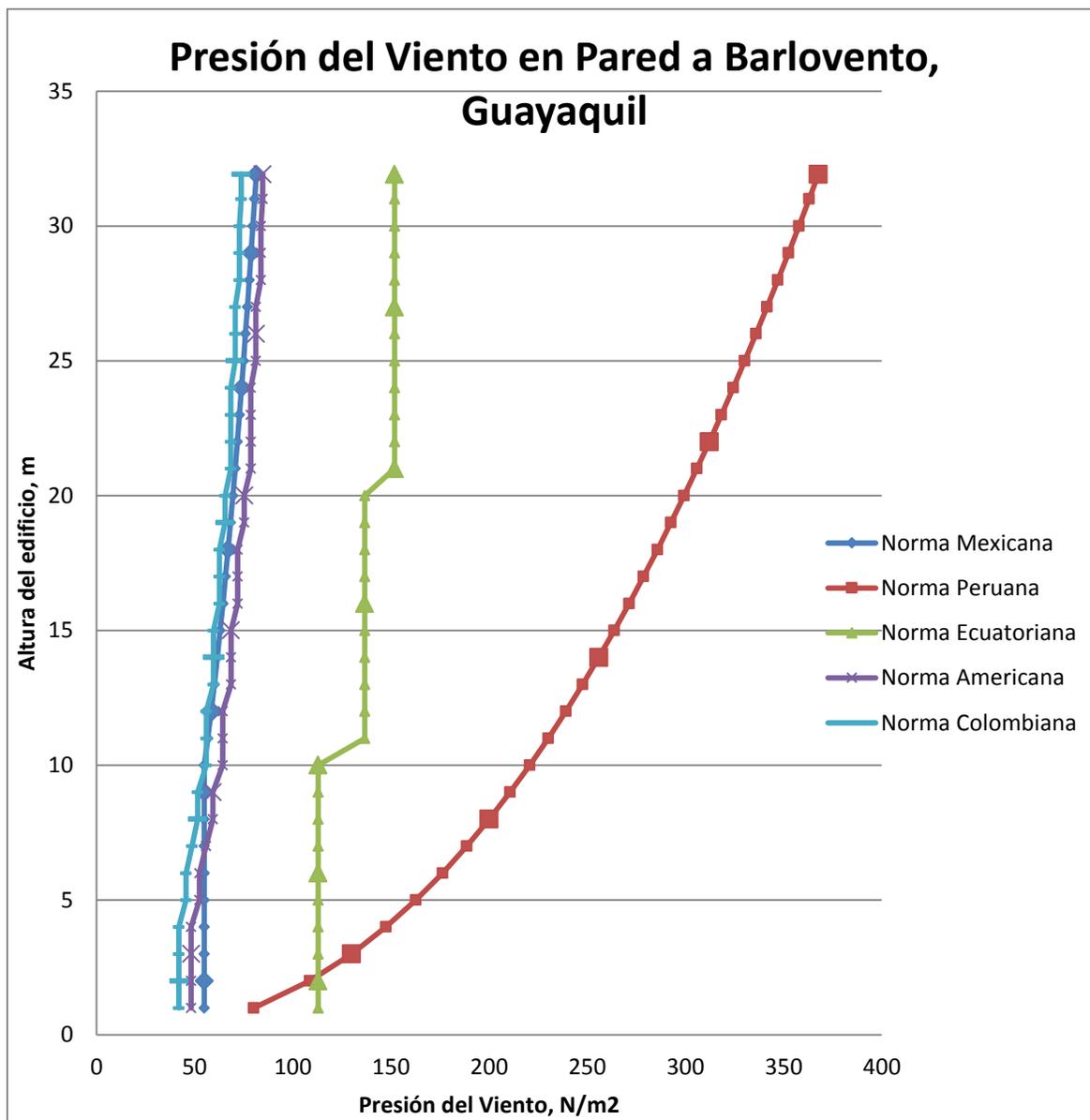


Gráfico 9.2 Resultados de presión de viento sobre barlovento a distintas alturas del edificio

En este gráfico se puede apreciar que los valores de la presión del viento a diferentes alturas obtenidos con la norma peruana y ecuatoriana son iguales que para la ciudad de Quito ya que la velocidad de diseño sigue siendo 21 m/s (Ecuador) y 75 Km/h (Perú) y las características de la zona donde estaría ubicado el edificio de estudio son similares a las de Quito. Mientras que las presiones obtenidas a través

de las otras normas han disminuido de manera evidente, debido a que la velocidad de diseño medida para la zona del centro de Guayaquil es menor que la medida para Quito. Por ejemplo para un período de retorno de 50 años la velocidad del viento sería de 14.728 m/s para Guayaquil, mientras que para Quito sería de 16.685 m/s. En el Gráfico 9.2 se puede apreciar que las curvas presión vs. Altura tienen formas diferentes, esto se debe a los intervalos de altura que se tomaban para calcular la presión del viento. Las curvas obtenidas a partir de las normas americana y colombiana son similares debido a que estas normas son muy semejantes en lo que respecta al procedimiento a seguir en el análisis e incluso en los intervalos de altura que se tomaban para medir la presión. La particularidad de la norma mexicana se debe a que para el cálculo de la presión de viento, se considera que la misma es constante a lo largo de los primeros diez metros de altura de la edificación y a partir de esta altura, la presión empieza a aumentar a medida que aumenta la altura obteniendo la forma parabólica que se muestra. La curva obtenida a través de la aplicación de la norma peruana es parabólica debido que en esta no se especifica intervalos fijos para medir la presión, permitiendo fijar dichos intervalos a criterio propio; en este caso se midió metro a metro hasta completar la altura del edificio.

A continuación, se muestra el Gráfico 9.3 correspondiente a la succión (presión negativa) que ejerce el flujo de viento en la pared a sotavento del edificio ubicado en la ciudad de Quito:

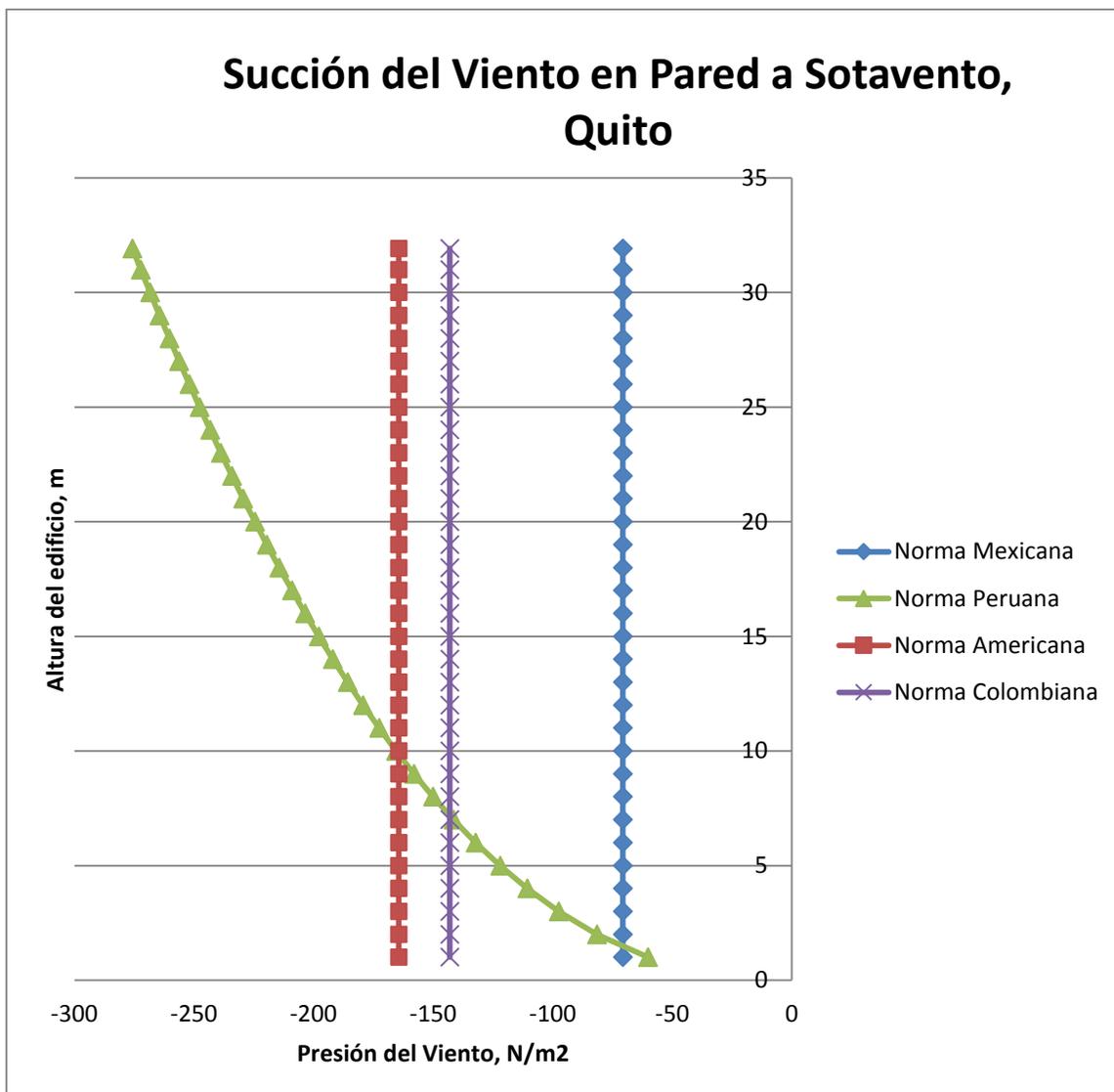


Gráfico 9.3 Resultados de succión de viento sobre sotavento a distintas alturas del edificio

Lo primero que se puede apreciar en la gráfica es la ausencia de una curva obtenida a partir de la norma ecuatoriana. Esta curva no es presentada pues en la norma no se proporciona ningún coeficiente para presión a sotavento en paredes laterales de edificios para aplicar en la ecuación que permite obtener la succión (presión negativa) del viento, por lo que este valor no fue calculado. Otra particularidad es que como se puede apreciar las curvas obtenidas a partir de las normas: mexicana, colombiana y americana; son curvas rectas. Esto se debe a que en dichas normas se

especifica que la presión a sotavento o succión se mantiene constante a lo largo de toda la altura de la estructura. Para el caso de la norma peruana no se especifica si este valor debe ser constante o no, por este motivo se calculó una presión a sotavento variante a medida que la altura aumenta, obteniendo la curva mostrada en el Gráfico 9.3.

Para el caso de la presión en la pared de sotavento para la ciudad de Guayaquil se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en el Gráfico 4:

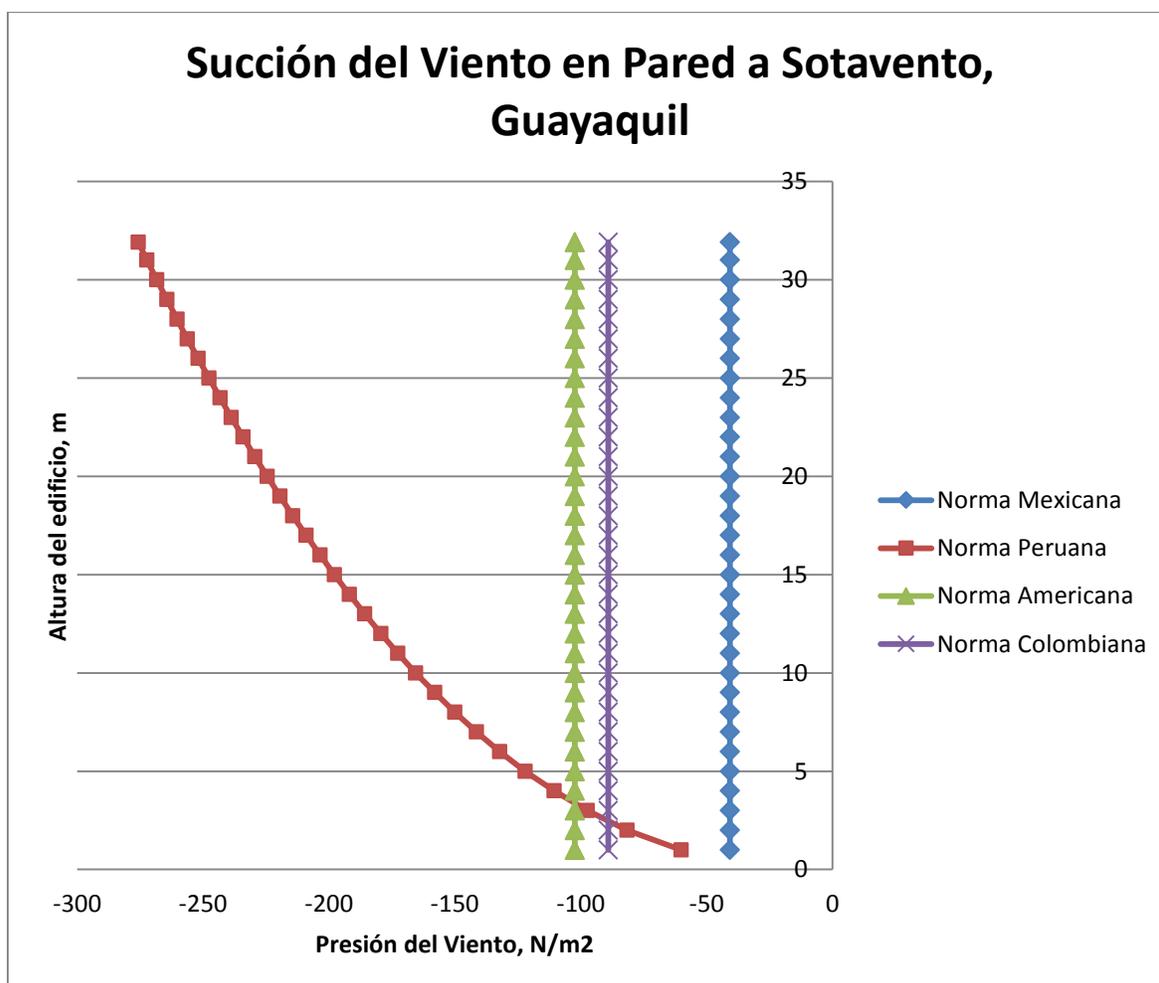


Gráfico 9.4 Resultados de succión de viento sobre sotavento a distintas alturas del edificio

En este gráfico se puede apreciar el mismo comportamiento antes mencionado sobre como la presión en la pared a sotavento disminuye considerablemente al aplicar la velocidad de diseño para la zona centro de Guayaquil, en las normas: colombiana, americana y mexicana. Mientras que la curva obtenida de la norma peruana sigue siendo la misma.

Los resultados obtenidos para la presión en las paredes laterales serán mostrados en el siguiente Gráfico 9.5 correspondiente a la ciudad de Quito:

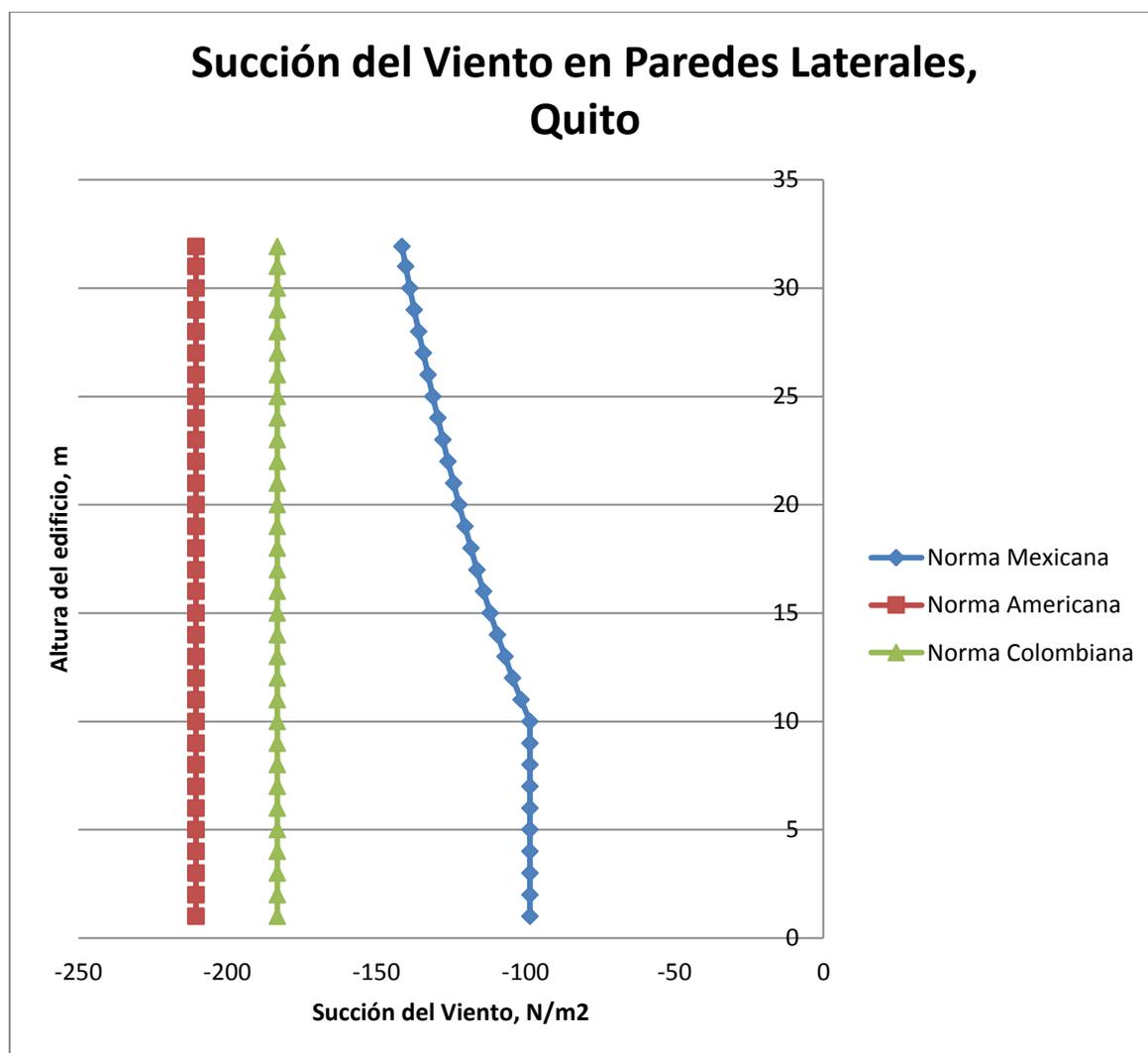


Gráfico 9.5 Resultados de presión de viento sobre paredes laterales a distintas alturas del edificio

El cálculo de la presión en las paredes laterales solo fue realizado para las normas: mexicana, americana y colombiana; pues para las normas ecuatoriana y peruana no se proporciona la información necesaria para realizar este análisis. De igual manera en la normas americana y colombiana se especifica que este valor se mantiene constante a lo largo de toda la altura del edificio, mientras que en la norma mexicana esto no es especificado por lo que se procedió a calcular el valor de la presión a diferentes alturas.

Para la ciudad de Guayaquil se obtuvieron los siguientes resultados para la presión en paredes laterales:

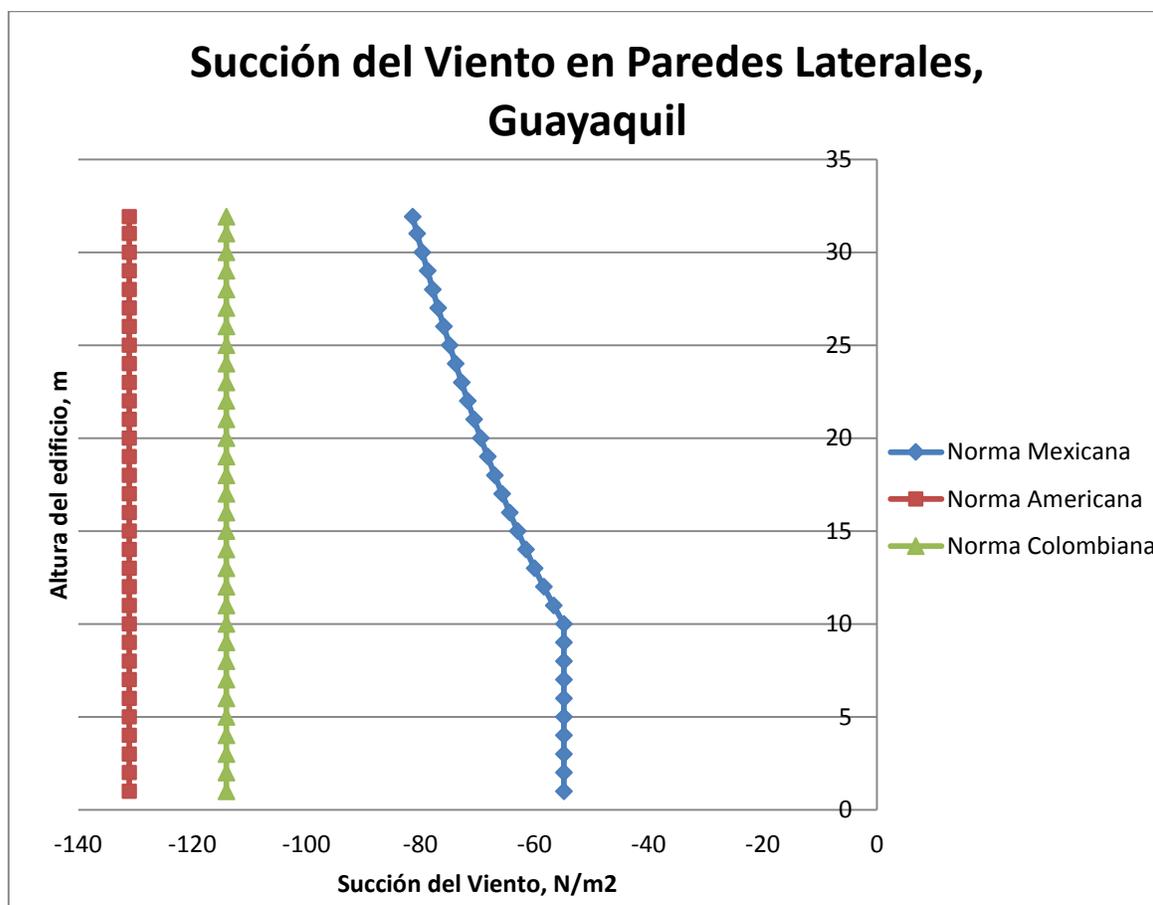


Gráfico 9.6 Resultados de presión de viento sobre paredes laterales a distintas alturas del edificio

Donde la disminución de los valores de la presión obtenidos para Guayaquil, en relación a los obtenidos para Quito se debe al cambio en la velocidad de diseño para la zona; a excepción de esto, se aprecia que las curvas tienen la misma forma para todas las normas.

9.1.2 Segundo edificio de estudio: Swiss Towers.

Uno de los objetivos particulares de este trabajo, es observar el comportamiento del viento a grandes alturas en nuestro medio. Ante los futuros proyectos de gran altura en la construcción a nivel nacional, es necesario conocer la conducta del viento. Se aplicaron los diferentes reglamento para el cálculo de la carga de viento sobre los sistemas principales de resistencia al viento (barlovento, sotavento, paredes laterales y cubierta) para una de las torres del proyecto SwissTowers, obteniendo distintos valores en cada método empleado sobre una misma superficie, debido a los distintos factores que en ellos se aplican de acuerdo a la región donde estas son aplicadas. A continuación se muestran los resultados obtenidos por todos los métodos empleados para el cálculo de la presión en barlovento:

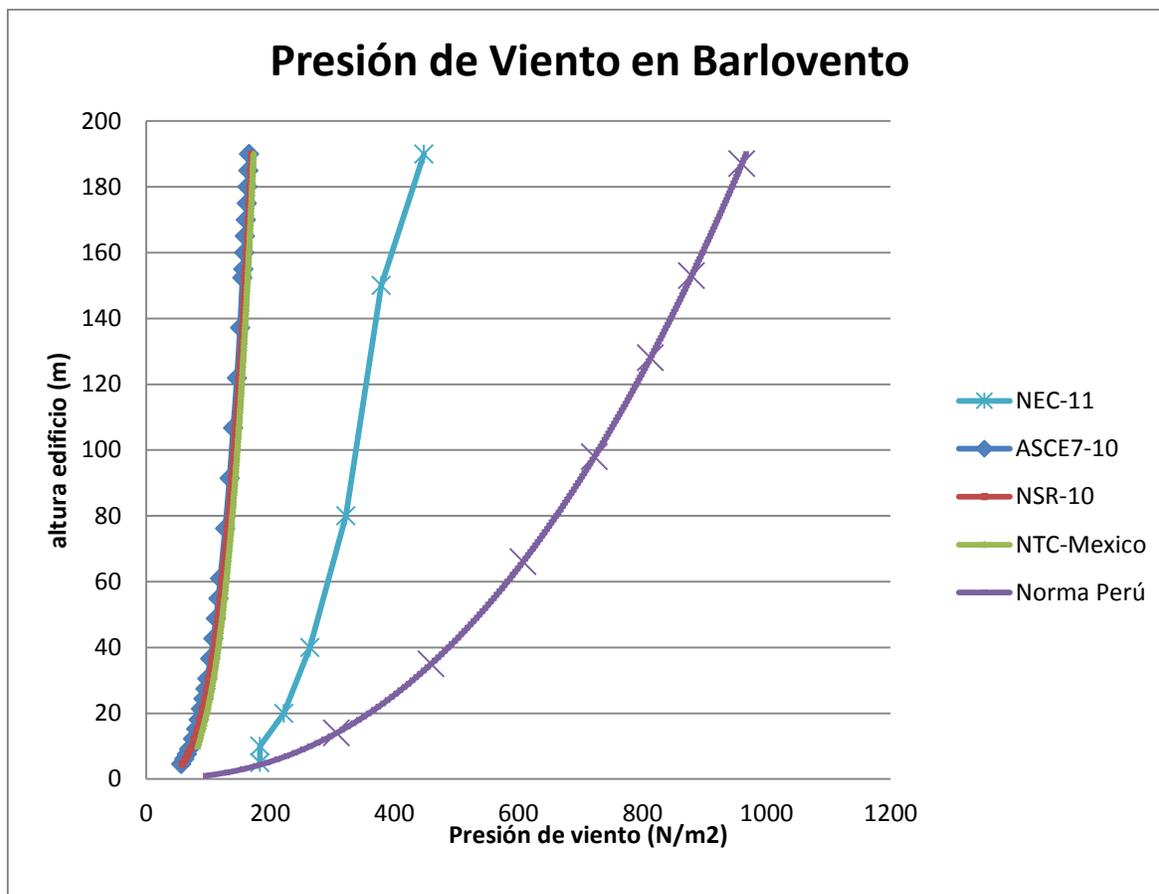


Gráfico 9.7 Resultados de presión de viento sobre barlovento a distintas alturas del edificio.

Como se puede observar en el Gráfico 9.7, el comportamiento de las curvas en todos los casos son similares (a manera de media parábola) hasta una altura de 150 metros aproximadamente, en el cuál la curva descrita por la NEC-11 sufre un aumento considerable en la presión del viento. Esto debido a que a partir de esta altura no existen valores para coeficientes de corrección para la velocidad del viento (Tabla 8.1), dando paso a la extrapolación de estos datos para la obtención de este coeficiente y obtener el resultado necesario para realizar la comparación con los demás.

Como se mencionó en los procedimientos de los códigos de Ecuador y Perú, en ambos no se permiten emplear velocidades de viento menores a 21 m/s

independientemente de las condiciones de la zona. Al emplear el código peruano, es notoria la gran diferencia de presión que existe entre los demás resultados sobre esta superficie (ver Gráfico 9.7) y Ecuador los segundos más altos. La diferencia radica principalmente en el cálculo de presión de viento, donde en la NEC, a pesar de emplear mayor cantidad de parámetros en los cálculos (ver Ecuación 8.2) no logran ser lo suficientemente grandes para ser mayores a los que en la norma peruana se utilizan (ver Ecuación 7.2), además de realizar cálculos que al final arrojan medidas en unidades de Kgf/m^2 que al convertirlas a N/m^2 aumenta aproximadamente 10 veces el resultado final; obteniéndose diferencias notables a medida que la altura del edificio en análisis aumenta.

La proximidad de los resultados entre las normas de México, Colombia y EEUU se puede notar en el Gráfico 9.7, agrupándose por debajo de los obtenidos en Ecuador y Perú. Esto se debe a las similitudes en los procedimientos llevados a cabo, tomando en cuenta de manera principal la topografía (plana), el uso de la estructura (proyecto hotelero, oficinas y departamentos) y el entorno que pueda generar obstrucciones (zona urbana donde predominan edificaciones superiores a los 10 metros de altura); esto a pesar de que las velocidades de viento utilizadas fueron distintas entre sí debido a las solicitudes de cada una de esta 3 normas.

Debido al comportamiento de las edificaciones regulares ante el flujo del viento, es en sotavento donde se originan succiones del mismo tipo de manera constante. En el Gráfico 9.8 se presentan los resultados de los cálculos realizados para esta parte de la estructura.

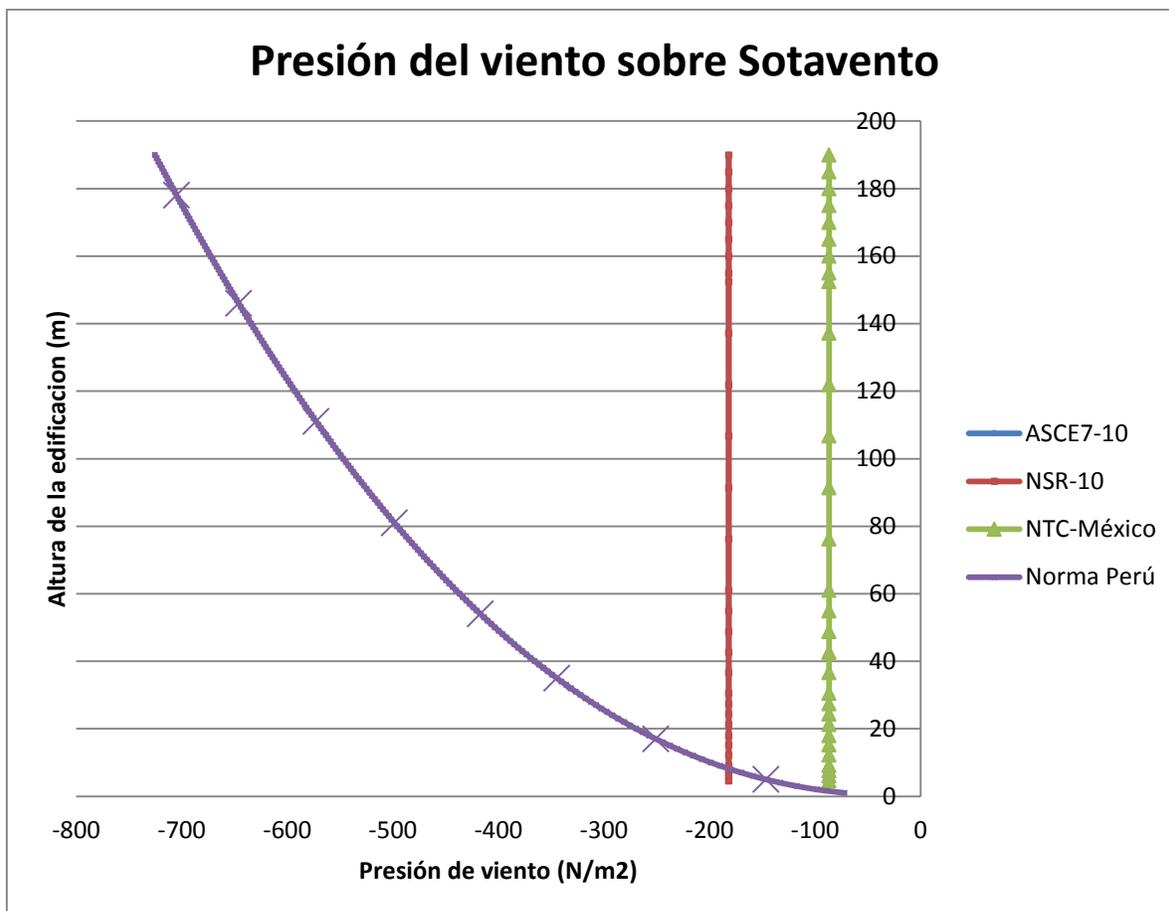


Gráfico 9.8 Resultados de presión de viento sobre barlovento a distintas alturas del edificio.

Al igual que en el cálculo en barlovento, se puede visualizar que la succión obtenida con la norma peruana es la mayor con respecto a los demás códigos utilizados. A excepción de la norma de Perú, en donde no se emplean valores constantes de succión del viento en sotavento, se obtienen valores mayores a medida que la altura de la estructura aumenta. Para la obtención de las demás presiones sobre sotavento, el valor constante se debe a que la presión a considerar es tomada para una altura z equivalente a la altura media de la edificación (190 metros en este caso) de acuerdo a las Secciones 5.1.1, 5.2.1 y 6.1.1. El cálculo utilizando la normativa peruana es distinta, ya que emplea un mismo proceso que para barlovento, es por ello que

presenta una forma similar a una función cuadrática (ver Gráfico 9.8) con la diferencia en el uso de un factor de forma distinto al de barlovento. Debido a la falta de un proceso para el cálculo de la succión de viento sobre sotavento dentro de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, no hay datos disponibles para realizar una comparación.

Para las paredes laterales, de acuerdo a los resultados, se obtienen valores de succión más grandes que las de presión que recibe sotavento, esto entre las similitudes de los métodos empleados. Para tener una idea más clara, en el Gráfico 9.9 se presentan los resultados obtenidos de succión sobre las paredes laterales del edificio.

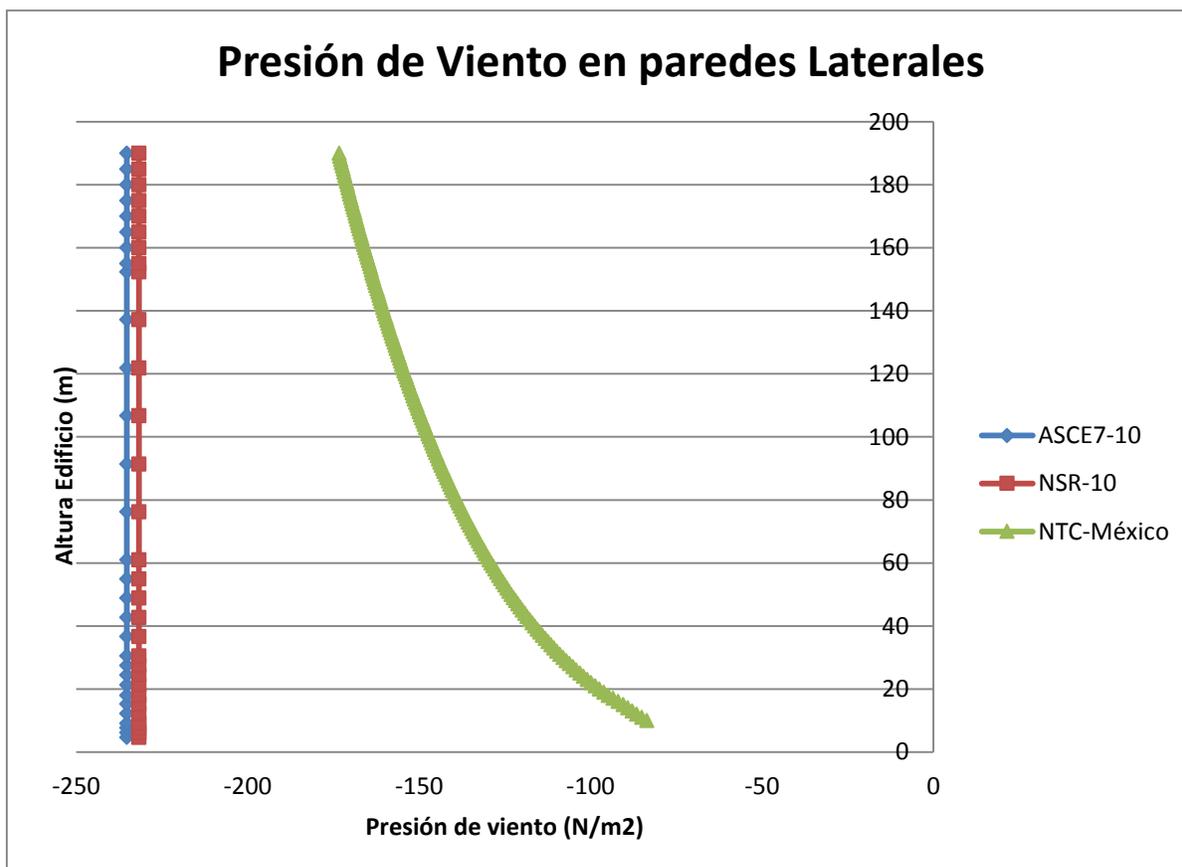


Gráfico 9.9 Resultados de succión de viento sobre 1 pared lateral del segundo edificio de estudio.

Los resultados para la succión provocada por el viento muestran únicamente a 3 de los 5 códigos empleados en el presente proyecto, esto debido a que los códigos del Perú y Ecuador no presentan un procedimiento para determinar el efecto del viento en esta sección de la estructura. De los resultados mostrados, claramente se puede observar en el Gráfico 9.9, que los códigos colombiano y estadounidense tienen una cercanía bastante próxima en sus resultados, debido a la similitud en los procedimientos que presentan cada uno (así también para el cálculo en barlovento y sotavento) difiriendo en el empleo de ciertas constantes para el cálculo de la presión q_z . Al igual que en sotavento, ambos reglamentos dependen exclusivamente de la presión calculada a la altura media del edificio (z), manteniendo dicho valor de forma constante a lo largo del edificio. El grupo de resultados mostrado (Gráfico 9.9), presenta como únicos valores variables los obtenidos con el código mexicano. Los puntos describen una curva parabólica sobre el gráfico, duplicando su valor inicial en el final. La diferencia además se observa a partir de los resultados, puesto que a pesar del aumento gradual de la succión del viento sobre esta superficie, no llega a cruzar las de ASCE7-10 y NSR-10, los cuales poseen un valor más alto.

A pesar de la falta de resultados en algunos de los códigos para la comparación, es notorio observar que a pesar de contener un proceso distinto el de la norma mexicana versus la ASCE7-10 y NSR-10, los resultados observados entre sí muestran una similitud que pueden sugerir un correcto uso de las mismas para nuestro medio, a diferencia de los otros 2 códigos que difieren mucho sus resultados de los demás y no presentar un procedimiento para realizar un análisis en todas las

superficies de la estructura; haciéndolas poco precisas para la realización de un estudio de los vientos y su efecto sobre edificaciones de gran altura.

9.2 Conclusiones

Luego del estudio de las diferentes normas utilizadas, es necesario tener claros los conceptos que en cada una de ellas se exponen, en términos que pueden variar de un país a otro.

Es importante definir las características geométricas y propiedades físicas de las estructuras en estudio para la aplicación de las normas que en el presente trabajo se utilizan. De esta manera, es posible conocer los efectos del viento sobre la estructura (y sus elementos) de acuerdo a las particularidades que la definen.

Para obtener los resultados que reflejen la respuesta del viento sobre la estructura, es necesario contar con un dato característico de la velocidad del viento registrada para una zona en específico. Es así, como se recurrió a datos históricos de los lugares de estudio y a ellos se aplica un método estadístico (distribución de Pearson III) con el fin de contar con valores probabilísticos para este parámetro, de acuerdo a lo que se especifica en cada norma.

Se estudiaron las normas de construcción, involucradas en este estudio, en sus secciones para el cálculo de la carga de viento; tomando en cuenta sus parámetros y variables que relacionan diferentes condiciones del medio como la topografía, su exposición en el medio que lo rodea, la geometría del edificio, la velocidad del viento, entre otros. A través de las condiciones y variables especificadas dentro de cada norma, se establecen las velocidades de viento respectivas, que como consecuencia permiten obtener los gráficos que muestran la respuesta del viento a medida que varía

la altura de la estructura, aportando al conocimiento de las reacciones que éstas pueden tener ante este tipo de carga.

En general, la respuesta del viento calculada sobre la edificación, en la ciudad de Quito, es mayor que la de Guayaquil, debido principalmente a un aumento en la velocidad del viento utilizada en el análisis de la primera ciudad. Los resultados obtenidos por medio de las normas ASCE7-10, NSR-10 y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento en México, fueron similares de acuerdo a lo que se observa en los gráficos comparativos en la Sección 9.1, esto a pesar de que las dos primeras no poseen un proceso análogo con respecto al desarrollo mostrado en la norma mexicana, sugiriéndonos que dichos procedimientos son válidos en cualquier condición, sea esta en ciudades distintas como en estructuras con diferentes propiedades físicas. Los resultados para las normas ecuatoriana y peruana muestran una diferencia notoria debido a los elevados valores numéricos obtenidos con respecto a las otras tres normativas estudiadas. Esta diferencia es más visible al observar los resultados en la norma peruana, que a pesar de tener un procedimiento semejante al de la NEC-11, los factores que intervienen en los cálculos los amplifican; volviéndose más notorio al aumentar la altura de la edificación en estudio. Por otro lado, la Norma Ecuatoriana de la Construcción, a pesar de no realizar consideraciones a profundidad en el cálculo de este tipo de cargas, los resultados no difieren de manera considerable en comparación al de Colombia, EEUU y México.

A partir de estas consideraciones es oportuno tomar en cuenta un estudio a profundidad para el cálculo de la carga del viento, contando con un mapa de *isotacas* para cada región del cual podamos obtener una velocidad del viento característica de

cada zona optimizando los resultados del análisis, diferenciando además los procesos de acuerdo a las dimensiones y geometría de la estructura a estudiar; todo esto en un contexto aplicable en futuras ediciones de la Norma Ecuatoriana para la Construcción, como consecuencia de las nuevas tendencias estructurales y arquitectónicas que se están incorporando en nuestro medio.

10 BIBLIOGRAFÍA

- ASCE. (2010). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. 241-295. (ASCE, Ed.) Reston, Virginia, United States of America.
- Beltrán, E. A. (2012). *Pórticos Espaciales Abiertos Resistentes al Viento para Facilidades Petroleras e Industriales*. Recuperado el 03 de 01 de 2015, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/5391/1/AC-CIVIL-ESPE-033330.pdf>
- Castillo, A. (Febrero de 2013). Diseño de un Silo Cilíndrico de Fondo Plano para Almacenamiento de Maíz con Capacidad de 50 Toneladas. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Ceja, E., & Hernandez , H. (2006). *Simulacion de ráfagas de viento para determinar el comportamiento eólico de estructuras*. Recuperado el 03 de 01 de 2015, de http://www.cic.umich.mx/documento/ciencia_nicolaita/2006/45/CN45-119.pdf
- Cisneros, M. G. (2009). *Efectos de Vientos en las Estructuras*. Recuperado el 05 de 01 de 2015, de <http://www.slideshare.net/profejaramillo/efectos-del-viento-en-las-estructuras>
- Concejo Metropolitano de Quito. (12 de Agosto de 2003). La Ordenanza Sustitutiva a la Ordenanza No. 3445 que contiene las Normas de Arquitectura y Urbanismo. *Ordenanza 3457*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Delaloye, I. H. (s.f.). *Taller vertical de Estructuras*. Recuperado el 06 de 01 de 2015, de Accion del Viento sobre Estructuras: <http://www.ing.unlp.edu.ar/estruc3a/arq/e3/viento.pdf>
- Espinosa, E. (2012). *Estudio Analítico - Experimental de una Lonaria a Efectos Dinamicos por Viento*. Recuperado el 03 de 01 de 2015, de <http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/491/1/RI000133.pdf>
- Fernández, J., Boufakredine, A., & Hidalgo, B. (1996). *Corrosión de las estructuras de Concreto Armado de Galpones Expuestos a Ambientes Marinos*. Recuperado el 03 de 01 de 2015, de <http://ojs.udo.edu.ve/index.php/saber/article/view/975>

- García, A., Saffar, A., & Godoy, L. (2008). *Curvas de Fragilidad debidas a Viento para Edificaciones Industriales Metálicas*. Recuperado el 03 de 01 de 2015, de <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/181/164>
- Guayaquil es mi Destino. (29 de Octubre de 2014). Obtenido de Guayaquil es mi Destino: <http://turismo.guayaquil.gob.ec/?q=es/noticias/colocacion-primera-piedra-swiss-hotel>
- Hurtado, A. (Diciembre de 2009). *Diseño por Vientos para Pórticos, Galpones y Estructuras Tridimensionales*. Ambato, Tungurahua, Ecuador.
- INAMHI. (2001-2011). *Anuario de Meteorología*. Guayaquil: INAMHI.
- INAMHI. (2015). *Anuario Meteorológico*. Quito, Ecuador.
- Instituto de Construcción y Gerencia. (9 de Junio de 2006). Norma E.020. *Normas Legales*. Perú: ICG.
- Instituto Nacional de Infraestructura Física Educativa. (2011). Recuperado el 05 de 01 de 2015, de Normas y Especificaciones para Estudios Proyectos Construcción e Instalaciones: http://www.inifed.gob.mx/doc/normateca/tec/V4-SE/Volumen_4_Tomo_III_Diseño_por_Viento.pdf
- Jaramillo, R. (2014). *Efectos del viento en las estructuras. Diseño por viento*. Recuperado el 29 de 01 de 2015, de http://www.slideshare.net/profejaramillo/efectos-del-viento-en-las-estructuras?qid=b885b1eb-437d-4255-83e8-80b3aae091ae&v=qf1&b=&from_search=2
- López, M., Terrazas, L., & Velázquez, M. (20 de Marzo de 2010). *Distribución X2 (De Pearson)*. México DF, México.
- NEC-11. (2011). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Ecuador.
- Nimbus Weather Services. (2012). Obtenido de Nimbus Weather Services: <http://200.58.146.28/nimbus/weather/pdf/cap7.pdf>
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento. (6 de Octubre de 2004). México D.F., México.
- NSR-10. (Enero de 2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Bogotá D.C., Colombia.

- Real Academia Española*. (s.f.). Recuperado el 9 de Febrero de 2015, de Real Academia Española: <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=barlovento>
- Real Academia Española*. (s.f.). Recuperado el 9 de Febrero de 2015, de Real Academia Española:
<http://lema.rae.es/drae/srv/search?id=MdW6rVEDKDXX2HVWoGQE>
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. (29 de Enero de 2004). México D.F., México.
- Romo, F. (17 de Marzo de 2015). Características Geométricas de Swisstowers. (A. Pacheco, & H. Tohala, Entrevistadores)
- Secretaria de Ambiente*. (2014). Recuperado el 2014, de Secretaria de Ambiente: <http://190.152.144.75/reportes/Reporte10MinutoGraph.aspx>
- sei tetra*. (s.f.). Recuperado el 9 de Febrero de 2015, de sei tetra: <http://www.seitetra.com.mx/website/pages2.aspx?page=7>
- Swiss Towers*. (2014). Obtenido de Swiss Towers: <http://www.swisstowers.com.ec/proyecto.html>
- Tapia, R. (2008). *Determinación de la Acción del viento sobre las Estructuras en Chile*. Recuperado el 01 de 2015, de www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/accion_viento/ossandon_rt.pdf
- UNNE. (s.f.). *Daños Causados por la Acción del Viento*. Recuperado el 05 de 01 de 2015, de <http://ing.unne.edu.ar/pub/dcav1.pdf>
- Vargas, G., Baeza, J. C., & Perez, D. (2004). *La peligrosidad de las mamparas elevadas ante el viento huracanado*. Recuperado el 03 de 01 de 2015, de <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen8/lapeligosidad.pdf>
- Zeller, E. (1984). *Wind Loads on Bridge Structures*. Strasbourg.

11 ANEXOS

11.1 Registro de Velocidades del viento en Cotocollao, Quito.

Ver CD adjunto.

11.2 Registro de Velocidades del viento en estación Meteorológica U. Estatal, Guayaquil.

Año 1992, fuente: INAMHI

MA2V		GUAYAQUIL-RADIO SONDA											INAMHI						
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Numero de dias con precipitación		
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima día	Mínima día	Máxima día	Mínima día	Media			Mensual	Máxima en 24hrs	Máxima en día			
*ENERO																			
FEBRERO	71,1	33,5	21	21,6	17	31,1	23,2	26,7	98	3	67	20	86	23,9	29,7	286,9	35,1	29	23
MARZO	80,1	33,4	24	22,8	3	31,1	24,0	26,8	98	9	68	6	88	24,6	30,9	429,1	113,6	19	27
ABRIL	112,4	34,0	14	22,7	2	32,0	24,3	27,5	98	2	63	14	86	24,8	31,1	535,8	98,4	1	22
MAYO	123,2	33,4	5	21,6	29	31,7	24,0	27,3	97	1	62	18	84	24,3	30,3	158,0	30,0	22	20
JUNIO	103,9	33,1	27	21,0	25	30,5	22,6	26,3	95	5	59	8	79	22,3	26,9	37,8	35,4	8	3
JULIO	98,1	33,5	1	20,2	8	29,6	21,0	25,1	94	7	52	1	76	20,5	24,1	4,8	3,6	13	2
AGOSTO	110,6	32,6	6	19,6	2	29,7	20,4	24,7	94	28	54	6	77	20,1	23,6	0,6	0,3	8	2
SEPTIEMBRE	83,0	33,0	15	18,2	25	29,8	20,4	24,7	90	17	58	8	75	19,9	23,3	0,0	0,0	0	0
OCTUBRE	127,7	32,7	14	19,6	3	30,4	21,0	25,4	93	24	50	5	73	19,9	23,4	0,0	0,0	0	0
NOVIEMBRE	109,0	33,5	25	19,6	5	30,2	21,4	25,5	91	11	49	25	72	19,9	23,2	0,0	0,0	0	0
DICIEMBRE	139,6	35,8	26	20,4	10	31,9	22,4	26,8	95	10	37	27	66	19,6	22,9	7,8	6,5	20	
VALOR ANUAL																			

MES	EVAPORACION (mm)		NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO												Vel Mayor Observada (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (Km/h)							
	Suma Mensual	Máxima en 24hrs		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA	Nro %											
*ENERO																								
FEBRERO			7	1,4	10	0,6	3	1,2	13	1,4	9	1,1	14	1,0	5	0,3	1	0,9	8	37	87	3,0	N	
MARZO			7	0,4	3	0,6	6	0,5	2	1,7	9	1,6	12	0,8	5	1,2	3	1,7	3	56	93	3,0	SW	
ABRIL			6	1,1	9	0,7	7	0,4	6	0,4	3	0,7	6	1,8	12	0,9	6	0,7	1	51	90	3,0	SW	
MAYO			6	0,3	1	0,3	1	0,9	6	0,4	5	0,8	10	1,5	15	0,0	0	0,0	0	61	93	3,0	SW	
JUNIO			6	0,0	0	0,3	2	0,3	1	0,4	6	1,3	8	1,8	24	0,7	2	0,0	0	57	90	4,0	SW	
JULIO			6	1,0	1	0,3	1	0,3	3	0,4	3	1,4	11	1,7	37	0,0	0	0,0	0	44	93	4,0	SW	
AGOSTO			5	0,0	0	0,0	0	0,7	8	1,1	4	1,8	18	2,5	41	0,0	0	0,0	0	29	93	5,0	S	
SEPTIEMBRE			6	0,0	0	0,0	0	0,4	11	0,6	3	1,8	16	1,9	49	0,8	3	0,0	0	18	90	4,0	SW	
OCTUBRE			6	0,0	0	0,0	0	0,3	3	0,4	11	1,4	24	2,1	47	0,5	2	0,0	0	13	93	4,0	SW	
NOVIEMBRE			6	0,0	0	0,3	1	0,5	6	1,3	14	1,3	22	1,5	29	0,0	0	0,3	1	27	90	3,0	E	
DICIEMBRE			5	1,0	2	0,7	1	1,1	6	0,9	9	1,6	13	1,5	29	0,3	2	0,3	1	37	93	5,0	SW	
VALOR ANUAL																								8,5

Año 1993, fuente: INAMHI

MA2V		GUAYAQUIL-RADIO SONDA											INAMHI						
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)		Número de días con precipitación			
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima día	Mínima día	Máxima	Mínima	Mensual			Máxima día	Mínima día		Media	Mensual	Máxima en 24hrs
ENERO	105,0	34,5	4	21,6	8							31,3	23,3			26,9			
FEBRERO	68,5	31,6	6	22,4	2	30,0	23,2	26,0	98	2	65	5	85	23,0	28,2	525,1	75,7	10	24
MARZO	97,9	33,0	3	21,8	2	31,1	23,9	27,1	98	11	62	3	81	23,5	28,9	155,5	57,7	10	26
ABRIL	128,5	33,2	25	22,5	24	31,6	24,0	27,4	98	14	60	8	80	23,6	29,1	332,1	60,6	13	18
MAYO	131,2	34,5	28	22,5	26	31,3	23,6	27,1	95	10	61	28	79	22,9	28,0	133,1	73,0	9	14
JUNIO	71,1	33,0	29	20,7	17	30,5	22,6	26,3	91	7	55	26	76	21,6	25,8	0,3	0,3	1	1
JULIO	106,2	33,7	24	19,7	8	30,1	21,5	25,6	92	8	57	24	75	20,6	24,3	0,0	TT	14	0
AGOSTO	142,4	33,0	12	19,3	9	30,3	20,4	25,0	92	20	53	8	72	19,3	22,4	0,1	0,1	31	1
SEPTIEMBRE	119,3	33,9	9	19,9	2	31,0	20,9	25,4	87	17	50	9	71	19,5	22,7	0,0	0,0	0	0
OCTUBRE	121,1	34,2	9	19,8	4	31,1	21,1	25,7	86	2	47	9	71	19,8	23,1	0,0	0,0	0	0
NOVIEMBRE	112,8	33,3	30	19,8	16	31,0	21,8	25,8	95	26	50	30	71	20,0	23,4	0,0	0,0	0	0
DICIEMBRE	104,3	35,5	16	20,7	27	32,1	22,7	27,0	98	18	46	16	70	20,8	24,6	86,2	32,7	17	10
VALOR ANUAL	1308,3	35,5		19,3		31,0	22,4	26,3	98		46		76	21,4	25,5	1390,7	75,7		116

MES	EVAPORACION (mm)		NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO														Vel Mayor Observada (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (Km/h)					
	Suma Mensual	Máxima en 24hrs dia		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA	Nro OBS											
ENERO			6	1,0	3	1,1	5	0,8	10	0,0	0	1,2	5	1,6	16	0,0	0	1,5	7	53	92	5,0	SW	1,2
FEBRERO			7	0,7	2	0,7	4	0,3	2	0,0	0	0,0	0	0,7	6	1,0	1	0,7	1	83	84	3,0	SW	
MARZO			6	0,3	2	0,3	8	0,7	9	0,3	1	0,9	4	0,6	13	0,0	0	1,2	3	60	93	3,0	NW	
ABRIL			6	0,8	4	0,4	9	1,3	6	1,3	3	0,0	0	1,4	15	1,3	2	0,0	0	61	89	3,0	SW	
MAYO			6	0,7	2	0,4	6	0,3	3	0,3	1	0,7	3	1,3	30	1,0	3	0,7	3	47	93	3,0	NE	
JUNIO			6	0,0	0	0,3	1	0,0	0	0,7	4	1,2	9	1,6	40	0,3	2	0,0	0	43	89	3,0	SW	
JULIO			5	0,0	0	0,5	2	1,0	4	0,5	2	0,3	2	1,7	45	0,7	1	0,0	0	43	93	4,0	SW	
AGOSTO			5	0,0	0	0,3	3	0,4	8	0,9	8	1,5	16	1,7	46	0,7	1	0,0	0	18	93	3,0	SW	
SEPTIEMBRE			5	0,0	0	0,0	0	0,6	11	1,3	9	1,6	24	2,1	40	0,0	0	0,0	0	16	89	4,0	SW	
OCTUBRE			6	0,0	0	0,3	2	0,6	9	0,6	10	1,8	13	1,8	43	0,0	0	0,0	0	24	93	4,0	SW	
NOVIEMBRE			6	0,0	0	0,0	0	0,5	8	1,3	9	1,8	24	1,5	42	0,0	0	0,0	0	17	90	3,0	SE	
DICIEMBRE			6	0,0	0	0,3	1	0,9	16	0,4	4	1,4	12	1,1	24	0,7	1	1,5	5	37	93	4,0	SW	
VALOR ANUAL			6	0,3	1	0,4	3	0,6	7	0,6	4	1,0	9	1,4	30	0,5	1	0,5	2	42		5,0	SW	

Año 1994, fuente: INAMHI

MA2V		GUAYAQUIL-RADIO SONDA											INAMHI						
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)		Número de días con precipitación			
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima día	Mínima día	Máxima	Mínima	Mensual			Máxima día	Mínima día		Media	Mensual	Máxima en 24hrs
ENERO	69,6	34,0	5	21,9	15							30,4	23,3			26,6			
FEBRERO	72,6	32,6	21	22,3	14	30,8	23,6	26,7	97	1	63	19	82	23,3	28,6	137,8	48,1	3	17
MARZO	104,4	33,9	22	21,4	11	31,8	23,4	27,2	97	28	50	9	77	22,6	27,4	189,0	55,9	27	14
ABRIL	96,0	33,0	11	21,6	1	31,0	23,2	26,8	97	19	65	12	81	23,1	28,3	119,5	40,2	18	16
MAYO	100,2			21,4	29		22,8	26,9	96	7	53	20	77	22,3	27,0	17,3	15,3	6	7
JUNIO	91,5	31,8	17	20,3	27	29,4	21,6	25,6	91	5	55	7	75	20,5	24,2	3,6	3,6	7	1
JULIO	136,1	31,6	3	18,7	31	29,1	19,8	24,1	93	19	55	15	74	19,0	22,0	0,0	0,0	0	0
AGOSTO	135,1	31,0	6	18,2	2	29,2	19,6	24,1	92	7	52	31	76	19,4	22,6	0,0	0,0	0	0
SEPTIEMBRE	191,9	33,8	28	18,0	12	30,9	19,8	24,8	89	6	48	13	72	19,2	22,3	0,2	0,2	8	1
OCTUBRE	105,3	34,4	9	20,7	1	30,8	21,8	25,9	88	8	47	25	71	20,0	23,5	0,0	TT	7	0
NOVIEMBRE	95,4	33,2	14	21,2	7	30,7	22,0	25,9	87	28	49	24	71	20,0	23,4	0,6	0,6	25	1
DICIEMBRE	52,5	34,6	12	20,2	25	31,7	23,0	27,2	97	19	50	12	75	22,1	26,7	164,0	130,6	19	10
VALOR ANUAL	1250,6			18,0			22,0	26,0	98		47		76	21,2	25,3	815,3	130,6		87

MES	EVAPORACION (mm)		NUBOSIDAD MEDIA (Octas)	VELOCIDAD MEDIA Y FRECUENCIAS DE VIENTO														Vel Mayor Observada (m/s)	VELOCIDAD MEDIA (Km/h)					
	Suma Mensual	Máxima en 24hrs dia		N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	CALMA	Nro OBS											
ENERO			6	0,7	2	0,7	10	0,4	8	1,7	3	1,4	5	0,7	3	0,0	0	1,3	2	67	93	4,0	SE	
FEBRERO			6	0,7	4	0,7	19	1,2	4	0,7	1	0,0	0	1,1	6	0,0	0	0,3	2	64	84	3,0	SW	
MARZO			6	0,7	2	1,3	17	0,5	2	0,0	0	1,7	2	1,5	4	0,0	0	0,0	0	72	93	4,0	SW	
ABRIL			6	0,7	2	1,1	26	0,3	1	0,7	1	0,8	3	1,3	7	0,3	1	0,7	3	56	90	2,0	NE	
MAYO			6	1,2	6	1,0	8	0,4	4	1,3	10	1,2	16	1,0	9	0,3	1	0,0	0	46	93	2,0	S	
JUNIO			6	0,3	1	1,3	1	0,8	4	1,1	7	1,2	21	1,5	41	0,0	0	0,0	0	24	90	4,0	NE	
JULIO			4	0,0	0	0,0	0	0,5	6	0,8	8	1,9	33	1,9	46	0,0	0	0,0	0	6	93	5,0	S	
AGOSTO			4	0,0	0	0,3	2	0,5	11	1,2	13	1,9	53	1,3	20	0,0	0	0,0	0	1	93	5,0	S	
SEPTIEMBRE			3	0,0	0	0,3	1	0,7	3	1,5	21	2,5	41	1,4	28	1,3	4	0,0	0	1	90	4,0	S	
OCTUBRE			5	0,0	0	0,0	0	0,5	5	1,4	24	2,0	30	1,9	33	0,0	0	0,0	0	8	93	5,0	SW	
NOVIEMBRE			5	0,0	0	0,0	0	0,3	2	1,8	18	1,9	29	1,5	32	0,0	0	0,0	0	19	90	3,0	S	
DICIEMBRE			5	0,3	1	1,0	2	1,8	6	1,0	14	1,8	38	2,1	25	0,0	0	2,0	3	11	93	3,0	S	
VALOR ANUAL			5	0,4	2	0,6	7	0,7	5	1,1	10	1,5	23	1,4	21	0,2	1	0,4	1	31		5,0	S	

