



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE PRESIONES DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS  
DE ALTA, MEDIA Y BAJA ALTURA, BASADO EN LAS NORMAS AGIES Y ASCE 7-10**

**Jeffrey José Anleú Ruiz**

Asesorado por el Ing. José Francisco Bonatti López

Guatemala, enero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE PRESIONES DE VIENTO SOBRE  
ESTRUCTURAS DE ALTA, MEDIA Y BAJA ALTURA, BASADO EN LAS  
NORMAS AGIES Y ASCE 7-10**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JEFFREY JOSÉ ANLEÚ RUIZ**

ASESORADO POR EL ING. JOSÉ FRANCISCO BONATTI LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ENERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Juan Carlos Linares Cruz
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE PRESIONES DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS DE ALTA, MEDIA Y BAJA ALTURA, BASADO EN LAS NORMAS AGIES Y ASCE 7-10**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 28 de septiembre de 2015.

  
**Jeffrey José Anleú Ruiz**

Guatemala, 30 de junio de 2016

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro.

Por este medio le informo que como asesor del estudiante de la carrera de Ingeniería Civil Jeffrey José Anleú Ruiz, con carné No. 2011-22829, he revisado el trabajo de graduación titulado **"PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE PRESIONES DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS DE ALTA, MEDIA Y BAJA ALTURA, BASADO EN LAS NORMAS AGIES Y ASCE 7-10"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el tramite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,  
  
Ing. José Francisco Bonatti López  
Colegiado No. 1782  
**ING. JOSE FRANCISCO BONATTI LOPEZ**  
Colegiado No. 1782



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
12 de octubre de 2016

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE PRESIONES DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS DE ALTA, MEDIA Y BAJA ALTURA, BASADO EN LAS NORMAS AGIES Y ASCE 7-10**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Jeffrey José Anleú Ruiz, con Carnet No. 2011-22829 , quien contó con la asesoría del Ing. José Bonatti López.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera  
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO  
DE  
ESTRUCTURAS  
USAC

/mrrm.

*Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua*





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. José Bonatti López y del Coordinador del Departamento de Estructuras Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación del estudiante Jeffrey José Anleú Ruiz, titulado **PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE PRESIONES DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS DE ALTA, MEDIA Y BAJA ALTURA, BASADO EN LAS NORMAS AGIES Y ASCE 7-10**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero 2017  
/mrrm.




*Más de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **PROCEDIMIENTO PARA ANÁLISIS DE PRESIONES DE VIENTO SOBRE ESTRUCTURAS DE ALTA, MEDIA Y BAJA ALTURA, BASADO EN LAS NORMAS AGIES Y ASCE 7-10**, presentado por el estudiante universitario: **Jeffrey José Anleú Ruiz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, enero de 2017







## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por estar presente para fortalecerme en todo momento.
<b>Mi madre</b>	Yojana Ruiz Girón.
<b>Mi padre</b>	Luis Alfonso Anleú Amézquita.
<b>Mis hermanos</b>	Luis Alfonso Anleú Ruiz y Raquel Anleú Ruiz.
<b>Mi familia</b>	Personas que siempre me apoyan en todas mis decisiones.
<b>Mis amigos</b>	María Laura de León, Fernando Soto, Caroline Soto, Oscar Alvarado y William González.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
<b>Mis amigos</b>	Por siempre estar dispuestos a apoyarme en todos los proyectos que la vida me presenta.
<b>Ing. José Francisco Bonatti López</b>	Por brindarme su conocimiento, experiencia y tiempo para realizar este trabajo de graduación.
<b>Ing. José Francisco Bonatti Gossman</b>	Por ser una importante influencia en mi crecimiento profesional.
<b>Craig Phillips</b>	Por apoyarme y motivarme para finalizar mi trabajo de graduación.
<b>Familia Melchor</b>	Por siempre estar ahí para ayudarme y celebrar mis triunfos.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XIII
GLOSARIO .....	XIX
RESUMEN .....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. CONCEPCIÓN DEL VIENTO .....	1
1.1. Aspectos fundamentales de la creación del viento .....	1
1.2. Factores geográficos .....	9
1.3. Incidencia de cambios súbitos en la superficie .....	10
1.4. Comportamiento del viento en las estructuras .....	11
2. VARIABLES DE DISEÑO .....	13
2.1. Elementos a analizar .....	13
2.1.1. Sistema principal de resistencia de fuerza de viento .....	13
2.1.2. Componentes y revestimiento .....	13
2.2. Categoría de exposición .....	14
2.3. Velocidades de viento en el territorio nacional .....	18
2.4. Comportamiento de la arquitectura .....	19
2.4.1. Clasificación de las estructuras por sus aberturas..	20
2.4.2. Coeficiente de presión interna, (GCpi) .....	22
2.5. Interconexión de la dirección, topografía y altura.....	24
2.5.1. Factor topográfico del viento .....	24

2.5.2.	Factor de direccionalidad del viento .....	29
3.	ANÁLISIS GENERAL POR EL MÉTODO DIRECCIONAL .....	31
3.1.	Limitaciones geograficas y condiciones de sitio.....	331
3.2.	Criterio de selección de variables.....	33
3.2.2.	Factor de dirección del viento.....	34
3.2.3.	Coeficiente de presión de velocidad .....	34
3.2.4.	Efecto ráfaga .....	34
3.2.5.	Presión de velocidad .....	40
3.2.6.	Coeficiente de presión externa.....	40
3.3.	Cálculo de presión de viento .....	49
3.3.2.	Sistema principal de resistencia de fuerza de viento .....	50
3.4.	Casos de diseño de carga de viento .....	54
3.5.	Cargas mínimas de viento .....	55
4.	DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES POR EL MÉTODO DE LA ENVOLVENTE .....	57
4.1.	Limitaciones geométricas y condiciones de sitio.....	57
4.2.	Variables de diseño .....	59
4.2.1.	Coeficiente de presión de velocidad .....	59
4.2.2.	Presión de velocidad .....	60
4.2.3.	Coeficiente de presión externa.....	60
4.2.4.	Presión de viento.....	63
4.2.5.	Carga de viento mínima para diseñar .....	65
4.3.	Zonificación de presiones .....	65
4.4.	Análisis de presiones sobre techos .....	66
5.	DISEÑO PARA REVESTIMIENTOS Y SUS COMPONENTES.....	69

5.1.	Metodología del análisis y sus limitantes .....	69
5.1.1.	Limitantes.....	70
5.1.2.	Requerimientos generales.....	71
5.1.3.	Presión mínima para diseño por viento.....	71
5.1.4.	Área tributaria .....	72
5.1.5.	Área efectiva de viento, A.....	72
5.2.	Parte 1. Estructuras de baja altura cerradas y parcialmente cerradas .....	72
5.2.1.	Coeficiente de presión de velocidad.....	73
5.2.2.	Presión de velocidad .....	73
5.2.3.	Coeficiente de presión externa.....	75
5.2.4.	Presiones de viento para diseño .....	75
5.3.	Estructuras cerradas y parcialmente cerradas de alta y media altura .....	86
5.3.1.	Coeficiente de presión de velocidad.....	86
5.3.2.	Presión de velocidad .....	87
5.3.3.	Coeficiente de presión externa.....	87
5.3.4.	Presiones de viento para diseño .....	89
5.4.	Estructuras abiertas .....	89
5.4.1.	Coeficiente de presión de velocidad.....	90
5.4.2.	Coeficiente de presión neta, CN.....	90
5.4.3.	Presión de velocidad .....	94
5.5.	Parte 6: elementos específicos en la estructura.....	94
5.5.1.	Parapetos.....	95
5.5.1.1.	Coeficiente de presión de velocidad ....	95
5.5.1.2.	Presión de velocidad .....	95
5.5.1.3.	Coeficiente de presión externa.....	96
5.5.1.4.	Presión de viento.....	96
5.5.2.	Salientes del techo .....	98



5.6.	Componentes y revestimiento .....	102
5.7.	Criterio de selección de área efectiva de viento.....	103
6.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CARGA DE VIENTO PROPUESTA POR AGIES .....	105
7.	EJEMPLIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS .....	109
7.1.	Análisis de estructura menor a 18 m por el método de la envolvente, AGIES y capítulo 5.....	109
7.1.1.	Pasos para el método de la envolvente .....	109
7.1.2.	Pasos para el método AGIES.....	110
7.1.3.	Pasos para analizar componentes y revestimiento para estructuras menores a 18 m...	110
7.1.4.	Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, método de la envolvente.....	112
7.1.5.	Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, método AGIES .....	121
7.1.6.	Presiones para componentes y revestimiento .....	123
7.1.7.	Componentes y revestimiento, método AGIES.....	132
7.2.	Análisis de estructura de 40 m por método direccional y método del capítulo cinco .....	133
7.2.1.	Pasos para el método direccional .....	134
7.2.2.	Pasos para analizar componentes y revestimiento para estructuras mayores a 18 m...	134
7.2.3.	Carga de viento, método direccional.....	136
7.2.4.	Carga de viento sobre los componentes y revestimiento .....	142
7.3.	Análisis de estructura de 120 m por el método direccional y método del capítulo cinco .....	150

7.3.1.	Pasos para el método direccional .....	150
7.3.2.	Pasos para analizar componentes y revestimiento en estructuras mayores a 18 m .....	151
7.3.3.	Sistema Principal de resistencia de fuerza de viento, método direccional .....	153
7.3.4.	Componentes y revestimiento para la estructura..	157
7.4.	Análisis de estructura abierta por el método direccional y el método del capítulo cinco .....	167
7.4.1.	Pasos para el método direccional .....	167
7.4.2.	Pasos para analizar componentes y revestimiento para estructuras mayores a 18 m ...	168
7.4.3.	Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, método direccional .....	170
7.4.4.	Presiones sobre los componentes y el revestimiento.....	174
CONCLUSIONES .....		177
RECOMENDACIONES.....		179
BIBLIOGRAFÍA.....		181
APÉNDICES .....		183



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Comparación de trayectorias.....	4
2.	Cambio de velocidad versus radio de giro .....	7
3.	Rotación de huracanes en el hemisferio norte .....	8
4.	Detalle de la circulación del viento sobre las estructuras.....	11
5.	Fotografía de edificios con categoría de exposición B.....	16
6.	Fotografía de un ejemplo de categoría de exposición C.....	17
7.	Fotografía de un ejemplo de categoría de exposición D.....	17
8.	Velocidades de viento sobre el territorio de Guatemala.....	18
9.	Aritmética de las presiones.....	23
10.	Componentes del factor topografico.....	26
11.	Medidas h y z en estructuras.....	29
12.	Aplicación de presiones de viento externas .....	41
13.	Coeficiente de presión externa, $C_p$ , para techos y muros .....	42
14.	Coeficientes de presión externa, $C_p$ , para domos o cúpulas.....	43
15.	Coeficientes de presión externa, $C_p$ , para techos arqueados .....	44
16.	Coeficiente de presión neto, $C_N$ , para estructuras abiertas de un agua .....	45
17.	Coeficiente de presión neto, $C_N$ , para techos a dos aguas.....	46
18.	Coeficiente de presión neto, $C_N$ , para techos libres acanalados .....	47
19.	Coeficiente de presión neto, $C_N$ , para cargas de viento paralelas a la cumbrera .....	48
20.	Carga de viento sobre parapetos en estructuras de diafragma simple cerrado .....	53

21.	Casos de diseño de carga de viento .....	56
22.	Zonificación de presiones externas para $h \leq 18,3$ m en estructuras cerradas y parcialmente cerradas .....	61
23.	Coeficiente de presión externa (GCpf) para $h \leq 18,3$ en estructuras cerradas y parcialmente cerradas .....	62
24.	Diagrama de cargas de torsión en estructuras de baja altura .....	63
25.	Distribución de presiones sobre techo a cuatro aguas .....	66
26.	Presiones negativas en sotavento.....	67
27.	Coeficiente de presión externa para muros, $h \leq 18,30$ m .....	76
28.	Coeficiente de presión externa para techos de dos aguas con $\theta < 7^\circ$ y $h \leq 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas.....	77
29.	Coeficiente de presión externa para techos de dos aguas y cuatro aguas con $7^\circ < \theta \leq 27^\circ$ y $h \leq 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas .....	78
30.	Coeficiente de presión externa para techos de dos aguas y cuatro aguas con $27^\circ < \theta \leq 45^\circ$ y $h \leq 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas .....	79
31.	Coeficiente de presión externa para techos escalonados con $h \leq 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas.....	80
32.	Coeficiente de presión externa para módulos continuos con techos de dos aguas y $h \leq 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas .....	81
33.	Coeficiente de presión externa para techos de un agua con $3^\circ < \theta \leq 10^\circ$ y $h \leq 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas...	82
34.	Coeficiente de presión externa para techos de un agua con $10^\circ < \theta \leq 30^\circ$ y $h \leq 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas .....	83
35.	Coeficiente de presión externa para techos en forma de cierra y $h \leq 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas.....	84

36.	Coeficiente de presión externa para domos con $h \leq 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas .....	85
37.	Coeficiente de presión externa para muros y techos con $h > 18,30$ m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas .....	88
38.	Coeficiente de presión neta para techos de un agua en estructuras abiertas con $0,25 \leq h/L \leq 1,0$ y $\theta \leq 45^\circ$ .....	91
39.	Coeficiente de presión neta para techos de dos aguas de estructuras abiertas con $0,25 \leq h/L \leq 1,0$ y $\theta \leq 45^\circ$ .....	92
40.	Coeficiente de presión neta para techos acanalados de estructuras abiertas con $0,25 \leq h/L \leq 1,0$ y $\theta \leq 45^\circ$ .....	93
41.	Cargas de viento sobre los componentes y el revestimiento de parapetos en todo tipo de estructuras y alturas .....	97
42.	Presiones sobre las salientes del techo y el sofito .....	100
43.	Zonificación de presiones sobre componentes y revestimiento para estructuras cerradas con $h \leq 48.8$ m .....	101
44.	Estructura ejemplo 1 .....	112
45.	Zonificación de coeficientes de presión externa, ejemplo 1 .....	118
46.	Presiones de diseño para el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, ejemplo 1, método de la envolvente .....	121
47.	Presiones de diseño para el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, ejemplo 1, método AGIES .....	122
48.	Zonificación de presiones de viento sobre paneles de muro, ejemplo 1.....	124
49.	Paneles de revestimiento presentes en muro, ejemplo 1 .....	125
50.	Zonificación de presiones sobre el techo, ejemplo 1 .....	128
51.	Paneles presentes en el techo a un agua con sus zonificaciones, ejemplo 1.....	129
52.	Presiones de viento sobre diferentes paneles del techo para diseñar revestimiento, ejemplo 1 .....	132

53.	Presiones de diseño de componentes y revestimiento, ejemplo 1, método AGIES.....	133
54.	Estructura ejemplo 2.....	136
55.	Presiones de viento sobre estructura para el diseño del Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, ejemplo 2 .....	142
56.	Zonificación de presiones de viento sobre la estructura para el diseño del revestimiento, ejemplo 2 .....	145
57.	Presiones de viento sobre estructura para el diseño del revestimiento, ejemplo 2.....	149
58.	Estructura ejemplo 3.....	152
59.	Presiones de viento sobre techo curvo para el diseño de revestimiento, ejemplo 3.....	165
60.	Estructura ejemplo 4.....	169
61.	Presión de viento sobre techo de estructura para el diseño del Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, ejemplo 4 .....	173
62.	Presión de viento sobre techo de estructura abierta para el diseño del revestimiento, ejemplo 4.....	176

## TABLAS

I.	Factores de presión interna según cerramiento.....	23
II.	Parámetros por aceleración sobre colinas y escarpes .....	27
III.	Factor de direccionalidad del viento .....	30
IV.	Coeficientes de presión de velocidad.....	35
V.	Z mínima con base en la categoría de exposición .....	36
VI.	Coeficientes de presión de velocidad.....	60
VII.	Coeficientes de presión de velocidad para componentes y revestimiento .....	74
VIII.	Coeficientes de exposición, Ce, método AGIES .....	106

IX.	Coeficientes de presión, Cq, método AGIES .....	107
X.	Presiones de viento, método AGIES .....	108
XI.	Coeficientes de presión externa para revestimiento de muros, ejemplo 1 .....	124
XII.	Coeficientes de presión externa para revestimiento del techo, ejemplo 1 .....	128
XIII.	Coeficientes de presión externa finales para revestimiento del techo, ejemplo 1.....	130
XIV.	Coeficientes de presión de velocidad de exposición para los diferentes niveles de la estructura, ejemplo 2 .....	138
XV.	Coeficientes de presión externa para revestimiento del techo, ejemplo 2 .....	144
XVI.	Coeficientes de presión externa para revestimiento en muros, ejemplo 2 .....	146
XVII.	Coeficientes de presión externa para revestimiento en salientes del techo, ejemplo 2.....	148
XVIII.	Coeficientes de presión externa en techo, ejemplo 3 .....	155
XIX.	Coeficientes de presión externa en muros, ejemplo 3 .....	155
XX.	Presión de velocidad en los diferentes niveles de la estructura, ejemplo 3 .....	157
XXI.	Presión de velocidad en los diferentes niveles de la estructura, continuación ejemplo 3 .....	158
XXII.	Coeficientes de presión externa para revestimiento en el techo, ejemplo 3 .....	159
XXIII.	Coeficientes de presión externa para revestimiento en los muros, ejemplo 3 .....	160
XXIV.	Presión de viento para diseño de revestimiento de muros en zona 4, ejemplo 3 .....	161



XXV.	Presión de viento para diseño de revestimiento de muros en zona 4, ejemplo 3. Continuación tabla XXI .....	162
XXVI.	Presión de viento para diseño de revestimiento de muros en zona 5, ejemplo 3 .....	163
XXVII.	Presión de viento para diseño de revestimiento de muros en zona 5, ejemplo 3. Continuación tabla XXVI .....	164
XXVIII.	Presión de viento finales para diseño de revestimiento de muros en zona 4 y 5, ejemplo 3.....	165
XXIX.	Presión de viento finales para diseño de revestimiento de muros en zona 4 y 5, ejemplo 3. Continuación de tabla XXVIII .....	166
XXX.	Coeficiente de presión neta sobre el techo con $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$ , ejemplo 4 .....	172
XXXI.	Coeficiente de presión neta sobre el techo con $\gamma = 90^\circ, 270^\circ$ , ejemplo 4 .....	172
XXXII.	Coeficiente de presión neta para revestimiento sobre el techo, ejemplo 4 .....	175

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área efectiva del viento
<b>A<sub>B</sub></b>	Área de la base de la estructura
<b>A<sub>i</sub></b>	Área de la sección transversal horizontal del muro de corte "i"
<b>A<sub>f</sub></b>	Área proyectada normal a la dirección del viento
<b>A<sub>g</sub></b>	Área bruta de la superficie que recibe la presión positiva
<b>A<sub>gi</sub></b>	Suma de las áreas gruesas en el contorno de la estructura, sin incluir A <sub>g</sub>
<b>A<sub>o</sub></b>	Área total de las aberturas en la superficie que recibe la presión positiva externa
<b>A<sub>oi</sub></b>	Suma de las aberturas en el contorno de la estructura, sin incluir A <sub>o</sub>
<b>a</b>	Ancho de la zona del coeficiente de presión/ aceleración
<b>B</b>	Dimensión horizontal de la estructura, medida normal a la dirección del viento
<b><math>\bar{b}</math></b>	Factor de velocidad media horaria del viento
<b><math>\hat{b}</math></b>	Factor de velocidad de ráfaga de tres segundos
<b>C<sub>e</sub></b>	Coeficiente de exposición
<b>C<sub>N</sub></b>	Coeficiente de presión neta
<b>C<sub>NL</sub></b>	Coeficiente de presión neta en sotavento

$C_{NW}$	Coeficiente de presión neta en barlovento
$C_p$	Coeficiente de presión externa
$C_q$	Coeficiente de presión
$D$	Diámetro de estructura circular
$D_i$	Longitud del muro de corte “i”
$e_Q$	Excentricidad e definida para estructuras rígidas
$e_R$	Distancia entre el centro de corte elástico y el centro de masa de cada piso
$G$	Factor de efecto ráfaga
$G_f$	Factor del efecto ráfaga para Sistema principal de resistencia de fuerza de viento en estructuras flexibles
$(GC_{pn})$	Coeficiente de presión neta combinado para un parapeto
$(GC_p)$	Combinación de coeficiente de presión externa y el factor del efecto ráfaga
$(GC_{pf})$	Combinación de coeficiente de presión externa y el factor del efecto ráfaga para estructuras de baja altura
$(GC_{pi})$	Combinación de coeficiente de presión interna y el factor del efecto ráfaga
$g_Q$	Factor pico de respuesta del ambiente
$g_R$	Factor pico de respuesta resonante
$g_v$	Factor pico de respuesta de viento
$H$	Altura de colina o escarpe
$h$	Altura media del techo de la estructura
$h_i$	Altura del muro de corte “i”
$h_p$	Altura a la parte superior del parapeto

<b>I</b>	Inercia
<b>I</b>	Factor de importancia
<b><math>I_z</math></b>	Intensidad de turbulencia
<b><math>K_1, K_2, K_3</math></b>	Multiplicadores para obtener $K_{zt}$
<b>kg</b>	Kilogramos
<b><math>K_d</math></b>	Factor de direccionalidad del viento
<b><math>K_h</math></b>	Coeficiente de presión de velocidad de exposición evaluado a la altura $z = h$
<b><math>K_z</math></b>	Coeficiente de presión de velocidad de exposición evaluado a la altura $z$
<b>L</b>	Momento angular en ecuación 1.1
<b>L</b>	Dimensión horizontal de la estructura, medida paralelamente a la dirección del viento
<b><math>L_h</math></b>	Distancia en barlovento de la cresta de la colina o escarpe
<b><math>L_z</math></b>	Escala integrada de longitud de la turbulencia a la altura equivalente $z$
<b><math>\ell</math></b>	Factor de escala integrada de longitud
<b>m</b>	Masa, en capítulo 2
<b>m</b>	Metros
<b>N</b>	Newton
<b>Pa</b>	Pascal
<b><math>N_1</math></b>	Frecuencia reducida
<b><math>n_a</math></b>	Límite de frecuencia inferior natural aproximada
<b><math>n_1</math></b>	Frecuencia fundamental natural
<b>p</b>	Presión de diseño para determinar cargas de viento
<b><math>p_{neta}</math></b>	Presión de viento de diseño neta
<b><math>p_p</math></b>	Presión neta combinada en un parapeto
<b>Q</b>	Factor de respuesta del ambiente

<b>q</b>	Presión de velocidad
<b>q<sub>h</sub></b>	Presión de velocidad evaluada a z = h
<b>q<sub>i</sub></b>	Presión de velocidad para determinación de la presión interna
<b>q<sub>p</sub></b>	Presión de velocidad en la parte superior del parapeto
<b>q<sub>s</sub></b>	Presión de remanso del viento
<b>q<sub>z</sub></b>	Presión de velocidad a la altura z sobre el suelo
<b>R</b>	Factor de respuesta de resonancia
<b>r</b>	Radio para ecuación 1.1 y 1.2
<b>r</b>	relación de flecha/cuerda de un techo curvo
<b>R<sub>i</sub></b>	Factor de reducción
<b>R<sub>L</sub></b>	Constante
<b>R<sub>ℓ</sub></b>	Variable de diseño que se basa en η
<b>R<sub>n</sub></b>	Constante
<b>V</b>	Velocidad del viento básica
<b>v</b>	Velocidad tangencial
<b>V<sub>z</sub></b>	Velocidad del viento promedio por hora
<b>W</b>	Ancho de la estructura
<b>W</b>	Velocidad angular en capítulo 2
<b>x</b>	Distancia horizontal en barlovento o sotavento de la cresta de la colina o escarpe a la localización de la estructura
<b>z</b>	Altura sobre el nivel del suelo
<b>z̄</b>	Altura equivalente de la estructura
<b>z<sub>min</sub></b>	Constante de exposición
<b>α</b>	Exponente de potencia en velocidad de ráfaga de 3 segundos

$\hat{\alpha}$	Recíproco de $\alpha$
$\bar{\alpha}$	Exponente de la ley de potencia de la velocidad media horaria del viento
$\beta$	Coefficiente de amortiguamiento
$\bar{\epsilon}$	Exponente de la ley de potencia de la escala integrada de longitud
$\eta$	Variable para determinar $R_\rho$
$\theta$	Ángulo del techo medido desde la horizontal
$\mu$	Factor de atenuación horizontal
$\gamma$	Factor de atenuación de altura



## GLOSARIO

<b>Abertura</b>	Agujero sobre una superficie que permite la circulación libre del viento.
<b>AGIES</b>	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
<b>ASCE</b>	Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (siglas en inglés).
<b>Barlovento</b>	Parte de donde viene el viento, con respecto a un punto o lugar determinado.
<b>Coeficiente</b>	Expresión numérica de una característica de la estructura, que generalmente se presenta como una relación entre dos magnitudes.
<b>Componente</b>	Elemento que transmite las cargas de viento que recibe a un sistema encargado de resistir las cargas de viento.
<b>Diafragma</b>	Pieza estructural rígida que puede soportar el esfuerzo cortante al estar cargado en una dirección paralela a un plano.



<b>Domo</b>	Bóveda en forma de una media esfera u otra aproximada con que suele cubrirse todo un edificio o parte de él.
<b>Excentricidad</b>	Distancia entre el centro geométrico de una pieza y su centro de giro.
<b>Gradiente</b>	Razón entre la variación del valor de una magnitud de dos puntos próximos y la distancia que los separa.
<b>Hemisferio</b>	Mitad de la superficie de la esfera terrestre que resulta al ser dividida esta por un círculo máximo, especialmente el ecuador o un meridiano.
<b>IBC</b>	Código Internacional de Construcción (siglas en inglés).
<b>Isotacas</b>	Línea que une puntos de igual velocidad en un fluido, como el agua o el viento.
<b>Marco</b>	Estructura que, fundamentalmente, está constituido por dos columnas y una viga sin contar los elementos subsecuentes.
<b>Momento angular</b>	Magnitud vectorial que caracteriza el estado de rotación de los cuerpos.

<b>Parapeto</b>	Muro de poca altura, formado por la elevación de los muros exteriores de un edificio que sobresale por encima de la cubierta.
<b>Proceso isobárico</b>	Proceso termodinámico que ocurre a presión constante.
<b>Ráfaga</b>	Viento fuerte, repentino y de corta duración.
<b>Revestimiento</b>	Capa o cubierta con la que se resguarda o adorna una superficie.
<b>Sotavento</b>	La parte opuesta a aquella de donde viene el viento con respecto a un punto o lugar determinado.
<b>Tijera</b>	Cercha a dos aguas cuyas barras de acción van desde la base de cada cordón hasta el punto medio del otro cordón superior.
<b>Tipo de cerramiento</b>	Forma en que se distribuyen los revestimientos y aberturas en una estructura, produciendo diferentes presiones en el interior de la misma.
<b>Turbulencia</b>	Régimen de flujo caracterizado por la baja difusión de momento, alta convección y cambios espacio-temporales rápidos de presión y velocidad.
<b>Velocidad básica</b>	Es la velocidad de ráfaga de tres segundos que se obtiene a diez metros sobre el nivel del suelo.

**Vórtice**

Torbellino,

remolino.

## RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación presenta el análisis de las presiones que producen el viento sobre una estructura que obstaculiza su flujo libre. El análisis inicia desde la concepción y movimiento del viento sobre la superficie terrestre, hasta la definición de los factores que influyen en la generación de un gradiente de presión que mueve las masas de viento.

Luego de definir la generación del viento y los factores que influyen, se presentan las metodologías de análisis propuestas por el ASCE para calcular las presiones de viento sobre diferentes zonas en una estructura, basadas en las velocidades de viento de AGIES para la república de Guatemala. Se propone una metodología para estructuras de alta, media y baja altura, y se diferencian los análisis de un Sistema principal de resistencia de fuerza de viento con los componentes y revestimiento.

Existe una descripción y un criterio de selección para cada tipo de variable por utilizar en el cálculo de presiones de viento en las estructuras. Finalmente, se ejemplifican cuatro tipos de estructuras para las que se calculan las cargas de viento que se utilizarán en su diseño, tanto para el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento como para los componentes y revestimiento.



# OBJETIVOS

## General

Analizar los factores que intervienen en la generación de presiones producidas por el viento sobre las estructuras y combinar las metodologías para obtener las cargas de viento de diseño, propuestas por ASCE, con las velocidades básicas de viento, propuestas por AGIES.

## Específicos

1. Proporcionar y describir metodologías para el cálculo de presiones de viento que se generan sobre las estructuras, basándose en tres intervalos de altura.
2. Proveer y analizar las gráficas que presentan la zonificación de presiones en las diferentes superficies de una estructura, según sus características geométricas.
3. Describir el método de análisis con el cual se calculan las presiones de viento que deben resistir el revestimiento y los componentes de una estructura.
4. Ejemplificar las diferentes metodologías para calcular las cargas de viento en estructuras, utilizando características geométricas, localizaciones y entornos distintos, y esquematizar los resultados que se presentan en cada análisis.

5. Proveer criterios específicos para la selección de valores para variables provenientes de las características de la estructura y su entorno.

## INTRODUCCIÓN

En el diseño de estructuras en Guatemala se presenta cargas de viento que, en la mayoría de los casos, son desplazadas por las combinaciones de carga que incluyen la carga de sismo. Sin embargo, las cargas de viento siguen actuando y son un factor importante en el diseño y selección del revestimiento y componentes individuales de la estructura, por lo que se requiere una metodología para obtener las cargas de viento de diseño.

El AGIES provee velocidades básicas de viento y una metodología general para el diseño de cargas de viento, sin diferenciar entre las cargas de viento para el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, y los componentes y revestimiento. Además, en el análisis de carga de viento es importante identificar la manera en que se zonifican las presiones sobre las superficies de una estructura, según su ubicación, para realizar un diseño eficiente.

La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, o ASCE (siglas en inglés) en el documento “Cargas mínimas de diseño para edificios y otras estructuras” proponen las metodologías para el cálculo de cargas de viento de diseño en estructuras de alta, media y baja altura.

En los primeros dos capítulos de este trabajo de graduación se describe la concepción del viento y los factores que influyen en su velocidad y dirección. Los siguientes capítulos combinan las metodologías de cálculo de cargas de viento propuestas por ASCE con las velocidades de viento que provee AGIES.



En el capítulo tres se describe el método direccional y el capítulo cuatro, el método de la envolvente, ambos para cargas de viento para el diseño del Sistema principal de resistencia de fuerza de viento. En el capítulo cinco se desarrolla la metodología para calcular cargas de viento para diseñar los componentes y revestimiento de las estructuras.

# **1. CONCEPCIÓN DEL VIENTO**

El planeta tierra posee diferentes características que generan procesos en ciclos repetitivos. Algunos procesos cambian ciertas características por la modificación del entorno en que se generan y estos, asimismo, transforman los procesos que se supeditan de estos, como sucede en la meteorología.

Un aspecto importante en la meteorología para el diseño de estructuras es la carga de viento que serán aplicadas sobre ellas. El diseño de viento no se debe de basar en las velocidades de viento normales sino en las velocidades máximas que se pueden alcanzar en la zona donde se localizará, basándose en los registros y las probabilidades.

Las velocidades de viento son modificadas por parámetros como la temperatura, topografía y la diferencia de presiones en la atmosfera.

Para entender las cargas de viento sobre las estructuras es indispensable analizar cómo se genera el viento, para luego entender los fenómenos climatológicos que pueden presentar y como se desplaza sobre diferentes superficies.

## **1.1. Aspectos fundamentales de la creación del viento**

La respuesta al origen del viento inicia con la variación de la temperatura sobre la superficie terrestre. En geodesia, la tierra posee la forma aproximada de un elipsoide oblató achatado en los polos y abultado en el ecuador. De

acuerdo con ello, el área del ecuador está más cerca del sol por lo que su temperatura es mayor a las de los polos norte y sur.

Analizando el aire con la regla general de los fluidos ideales, se obtienen los siguientes resultados: suponiendo que el volumen del aire analizado no varía (proceso isocoro), al aumentar su temperatura al doble de la inicial se puede verificar que la presión final es el doble de la inicial. Si en cambio, al suponer una presión constante (proceso isobárico), si aumentamos la temperatura al doble de la inicial, el volumen aumenta al doble, reduciendo la densidad del fluido.

Con base en el análisis del proceso isocoro se puede demostrar por qué la presión atmosférica en el ecuador es menor que la presión atmosférica en los polos, cuando se comparan dos lugares con la misma elevación sobre el nivel del mar. El segundo análisis indica que, con el cambio de temperatura, el aire caliente se eleva para ser reemplazado por el aire frío, esto debido a que el aire frío es más denso.

Tanto el cambio de presión como el cambio de temperatura permiten que exista el viento. El cambio de temperatura propiciará que el aire caliente se eleve y el cambio de presión atmosférica permitirá que el aire caliente se traslade hacia los polos y el aire frío se traslade hacia el ecuador, con base en el gradiente de presión.

- Gradiente de presión

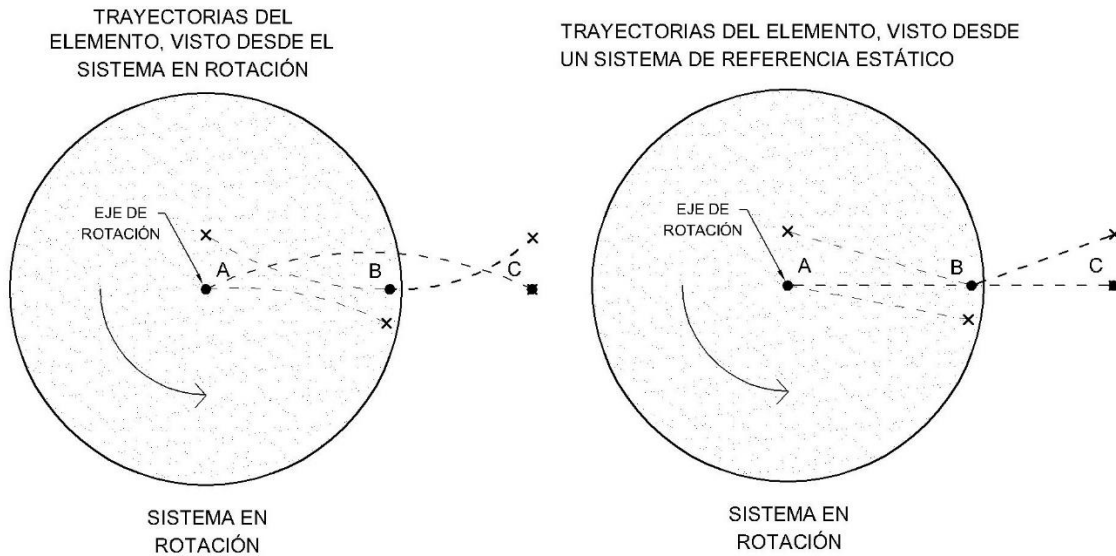
El gradiente de presión es la variación de presión de un punto a otro. Es perpendicular a las curvas de las isobaras.

Si la superficie de la tierra no tuviera irregularidades, la circulación del aire sería en línea recta desde el ecuador hacia los polos, por la parte de arriba, y de los polos al ecuador por la parte de abajo, esto sin tomar en cuenta la rotación de la tierra.

Existen dos formas de visualizar un sistema en rotación, como se muestra en la figura 1. La primera forma es dentro del sistema y la segunda, fuera del sistema. Si se coloca una persona en el punto A (eje de rotación en contra de las agujas del reloj) y lanza un elemento hacia una persona en el punto C (fuera del sistema de rotación), la persona en el punto A visualizará que el elemento lanzado toma una trayectoria curva debido al movimiento rotatorio que el sistema posee. Si la persona en el punto B (persona dentro del sistema en rotación, pero lejana al eje de rotación) lanza el elemento en dirección hacia la persona en A, la trayectoria del elemento parecería curvarse y no llegaría a la persona en A porque el elemento posee una velocidad inicial que no le permite viajar directo hacia A.

Si la persona en B lo lanza el elemento a la persona en C justo cuando pasa enfrente de ella, el elemento no llegaría a la persona en B por el mismo motivo por el que no llego a la que estaba en A. Para hacer llegar el elemento a la persona en C, debería de lanzar el elemento con cierto ángulo hacia la derecha de B o lanzarlo con anterioridad.

Figura 1. Comparación de trayectorias



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

- Fuerza de Coriolis

En todos los casos la persona en C observa que el elemento lanzado toma una trayectoria rectilínea, mientras que la persona en A y B observan trayectorias curvas. La razón por la que la trayectoria del elemento pareciera curvarse es porque los observadores se desplazan en una trayectoria curva por la rotación. Esto mismo sucede con los vientos en la tierra cuando se analizan vistos desde planta. En el hemisferio norte los elementos parecen tener una trayectoria curva hacia la derecha y en el hemisferio sur, hacia la izquierda.

Cuando analizamos la trayectoria del elemento desde el interior del sistema, la fuerza que desvía una trayectoria rectilínea del elemento es llamada fuerza de coriolis o efecto coriolis. Esta "fuerza" es ficticia y es utilizada para realizar cálculos desde puntos de referencia en un sistema en rotación.

En la vida cotidiana, este efecto no es muy perceptible. Para que sea notorio, la distancia en la que se lanza un elemento debe de ser grande en relación con la circunferencia de la tierra, además, debe de ser lanzado con una componente hacia el eje de la tierra.

A pesar de que la fuerza de coriolis es ficticia, la rotación de tierra conlleva la generación de ciertos fenómenos en el movimiento del viento. El viento tiende a curvarse a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur.

Para entender por qué las partículas parecen curvarse cuando se mueven desde el ecuador hacia los polos, se debe comprender la aplicación de la conservación del momento angular y la conservación de la velocidad angular en el sistema en rotación. Si se analiza una partícula en el ecuador, podemos definir su momento angular,  $L$ , como  $I\omega$ , escribiéndola de otra forma,  $mrv$ .

$$L = I\omega = I(v/r) \quad (1.1)$$

Donde

- L momento angular
- I inercia
- $\omega$  velocidad angular
- $v$  velocidad tangencial
- r radio

Si se analiza una partícula, la inercia es  $mr^2$ , donde  $m$  es la masa y  $r$  es el radio. Sustituyéndola en la ecuación del momento angular obtenemos:

$$I(v/r) = m r v \quad (1.2)$$

Si se le aplica una fuerza a la partícula para que se desplace hacia uno de los polos, según la conservación del momento angular, la partícula debería de poseer una velocidad angular mayor debido a que posee una menor inercia (su radio de giro es menor). La velocidad angular de la partícula aumenta exponencialmente al disminuir el radio de giro.

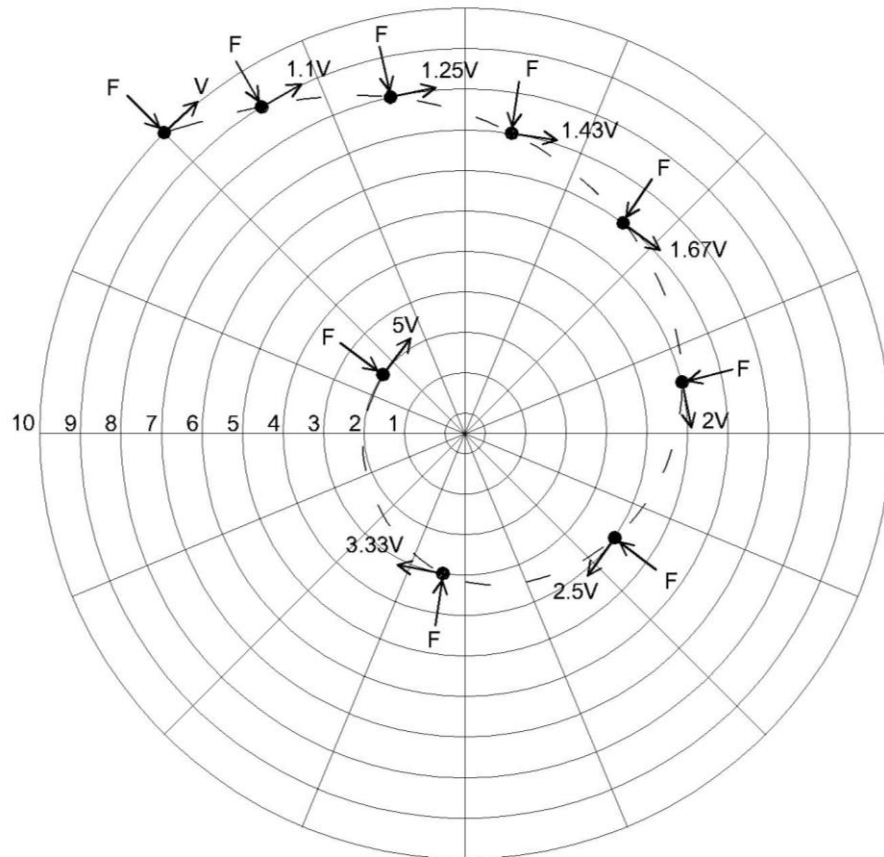
Si analizamos la fórmula del momento angular expresada en términos de la velocidad tangencial, se puede concluir que la velocidad tangencial es inversamente proporcional al radio de giro, o sea, la partícula tiene mayor velocidad angular y tangencial por lo que al graficarla se obtendría un resultado como el mostrado en la figura 2.

Si suponemos que la figura 2 es la tierra vista desde el polo sur, la partícula de aire giraría con mayor velocidad al estar más cerca de eje de rotación, o sea, el polo sur.

Si suponemos que la figura 2 es la tierra vista desde el polo sur, la partícula de aire giraría con mayor velocidad al estar más cerca de eje de rotación, o sea, el polo sur.

La fuerza que mueve las partículas de aire hacia los polos es el gradiente de presión, controlado por la variación de temperaturas en la superficie terrestre. En el caso del hemisferio norte, las partículas se desvían hacia la derecha y en el hemisferio sur, hacia la izquierda.

Figura 2. **Cambio de velocidad versus radio de giro**

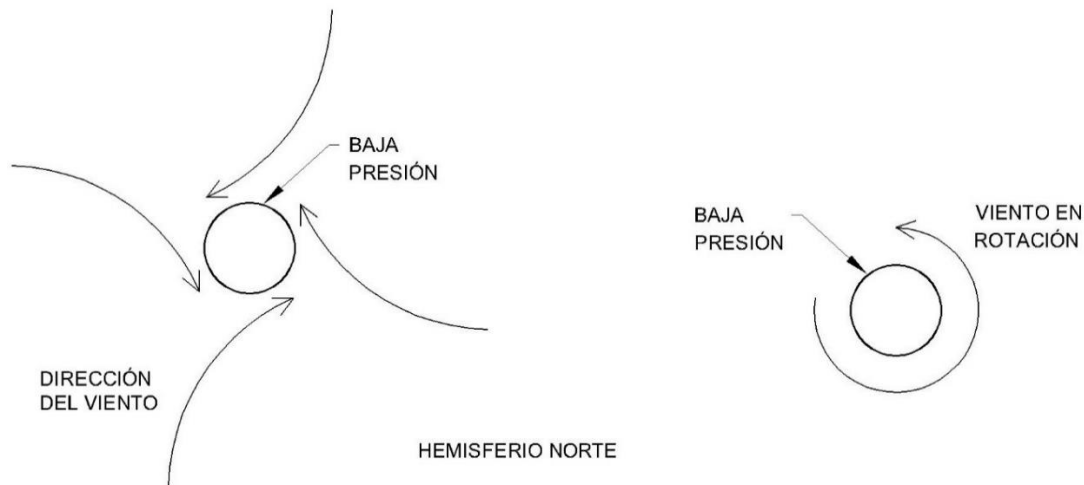


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Por medio de lo establecido en los párrafos anteriores se puede entender el comportamiento de un huracán. El ojo del huracán posee baja presión por lo que los gradientes de presión se dirigen hacia él, pero como se demostró anteriormente, las partículas de aire tienden a desviarse hacia la derecha en el polo norte y hacia la izquierda en el polo sur. Si analizamos el comportamiento de las partículas de un huracán en el polo norte, las partículas se desplazan como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Rotación de huracanes en el hemisferio norte



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

La magnitud de la fuerza de coriolis se obtiene analizando una partícula con momento angular constante y el punto de observación que obedece a la velocidad angular de la tierra. Las ecuaciones son las siguientes:

$$\text{Momento angular (L)} = r \cdot v \cdot m$$

El cambio del momento angular se obtiene derivando la formula anterior.

$$\Delta L = \Delta r \cdot v \cdot m + \Delta v \cdot r \cdot m \quad (1.3)$$

Sabiendo que el momento angular es constante, se puede igualar  $dL = 0$  y despejar el cambio de velocidad.

$$dv = -\frac{\Delta r \cdot v \cdot m}{(r \cdot m)} = -W \cdot \Delta r \quad (1.4)$$

La diferencia de velocidad entre un observador, que conserva la velocidad angular el sistema en rotación, con respecto al elemento que se desplaza conservando el momento angular es:

$$\Delta V_{\text{total}} = \Delta V_{\text{angular}} - \Delta V_{\text{conservando momento angular}} \quad (1.5)$$

$$\Delta V_{\text{total}} = w \cdot \Delta r - (w \cdot \Delta r) = 2 \cdot w \cdot \Delta r$$

La fuerza de coriolis es la siguiente:

$$F_c = m \cdot a = 2 \cdot w \cdot \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1.5)$$

## 1.2. Factores geográficos

El comportamiento de los vientos se ve afectado por la superficie de la tierra. La variación de las elevaciones de la tierra implica una variación en la temperatura y una redirección del viento por la obstrucción que los accidentes geográficos producen.

El viento que circula entre cadenas montañosas posee mayor velocidad debido a que el área por la que circula se reduce, de acuerdo con la ecuación de continuidad de los fluidos. Los edificios pueden producir un efecto túnel en las calles por lo que el viento aumenta su velocidad y posee una mayor inercia ante los elementos que cambian su dirección.

Los océanos son factores topográficos que influyen en el comportamiento del viento. Las partículas del agua están más distanciadas que las de los sólidos, por eso cambian de temperatura a velocidades menores. De ahí que,

durante el día, el viento viaja del océano hacia la tierra, por la parte inferior de la atmosfera. Luego, se calienta y regresa hacia el océano por la parte superior. Lo mismo sucede por la noche, pero de manera inversa, cuando las temperaturas disminuyen.

Cuando se analiza el viento también es importante el tipo de superficie sobre la que se desplaza. Por ejemplo, un desierto posee menos resistencia al movimiento del viento que un bosque, porque la vegetación provee una superficie rugosa que produce fricción en las partículas de aire.

### **1.3. Incidencia de cambios súbitos en la superficie**

Las estructuras que se construyen están diseñadas para cargas vivas y muertas que se puedan presentar en el futuro, fuerzas sísmicas, etc. En múltiples ocasiones las fuerzas de viento pueden reducirse drásticamente debido a la variación de la superficie. Esto sucede cuando se construyen edificios en el área de circulación del viento.

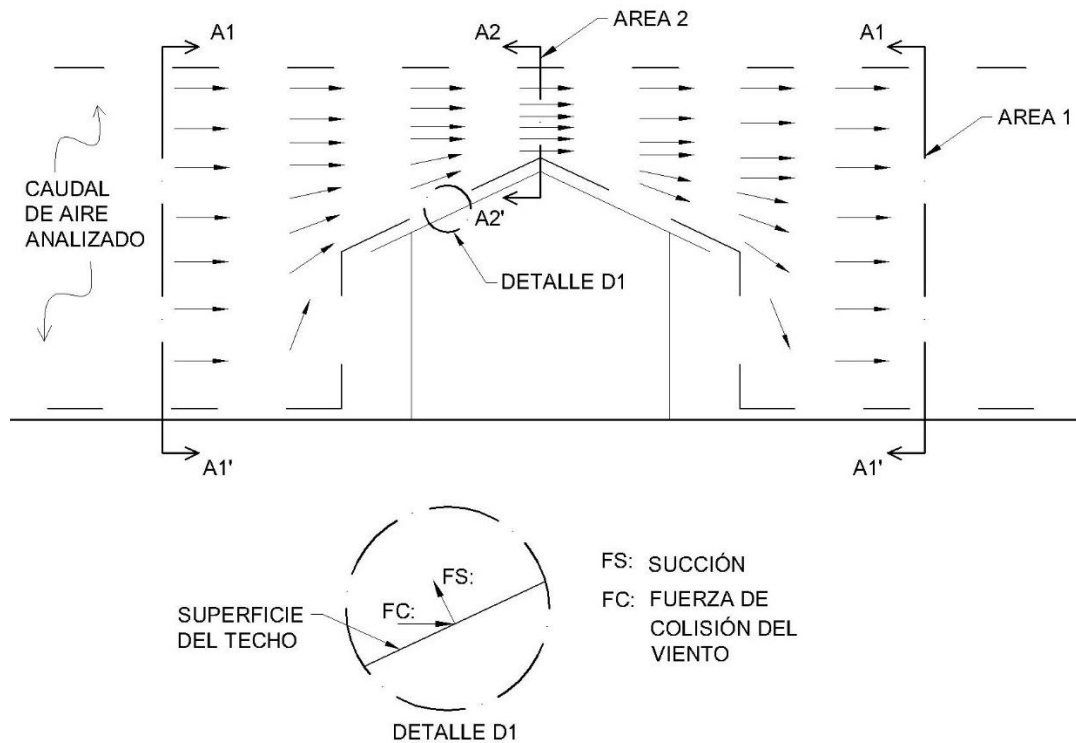
Una construcción cerca de un acantilado se ve afectada tanto por la disminución del área de circulación del viento como por el cambio de dirección drástico que sufre el viento que colisiona contra el acantilado. Las únicas posibles redirecciones del viento que colisiona en un acantilado son hacia los lados o hacia arriba, provocando una fuerza hacia arriba en las salientes del techo de una estructura.

Los cambios súbitos de la superficie terrestre no solo producen fuerzas por la colisión del viento sino también fuerzas de succión sobre las estructuras por el cambio de velocidad del viento.

#### 1.4. Comportamiento del viento en las estructuras

Si imaginamos un caudal de aire circulando sobre una estructura, como se lo ejemplifica la figura 4, la velocidad del viento debería de ser mayor al pasar sobre la estructura debido a que el área de circulación es menor, según la ecuación de continuidad. Con base en la ecuación de Bernoulli se puede demostrar que la presión disminuye cuando la velocidad es mayor, produciendo una presión externa negativa sobre la estructura.

Figura 4. Detalle de la circulación del viento sobre las estructuras



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

El viento produce diferentes tipos de cargas en una estructura: cargas de presión positiva, cargas de presión negativa, corte y momento. En algunas ocasiones, el viento produce combinaciones de las cargas que finalmente se transmiten en una carga resultante, por ejemplo, en una superficie inclinada. El aire que colisiona contra una superficie inclinada produce presión positiva sobre la superficie, mientras que el efecto de la reducción de área de circulación del viento produce que su velocidad aumente y, por lo tanto, disminuya su presión, generando presiones negativas sobre la superficie.

## **2. VARIABLES DE DISEÑO**

### **2.1. Elementos a analizar**

Existen dos tipos de análisis propuestos por el ASCE 7-10 basados en el tipo de elemento a diseñar. Las cargas de viento se pueden calcular para el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento o para los componentes y revestimiento.

#### **2.1.1. Sistema principal de resistencia de fuerza de viento**

En primer lugar, está el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento (o MWFRS, siglas que corresponden a su nombre en inglés), definido como: “ensamblaje de elementos estructurales asignados para proveer soporte y estabilidad a la estructura global”, definición traducida del ASCE 7-10 capítulo 26. En otras palabras, el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento se encarga de resistir las cargas de viento de la estructura, por ejemplo las paredes en un sistema tipo cajón, un marco resistente a momentos de acero o concreto, columnas en un sistema de péndulo invertido, etc.

#### **2.1.2. Componentes y revestimiento**

El segundo tipo de análisis se realiza para los componentes y el revestimiento de las estructuras (o sus siglas en inglés C&C). El ASCE 7-10 lo define como: “elementos que no forman parte del sistema principal de resistencia de carga de viento”. Dentro de esta categoría se encuentra todo tipo de revestimiento, sujetadores, costaneras, armaduras, tijeras, montantes, etc.

El concepto principal de un componente es el elemento que transmite las cargas de viento que recibe a un sistema encargado de resistir las cargas de viento. El ASCE 7-10 establece que los componentes pueden analizarse como parte del sistema principal de resistencia de carga de viento cuando actúan como un muro de corte o diafragmas en el techo. Sin embargo, los elementos que son parte del componente, deben de ser analizados con cargas de componentes y revestimiento.

## **2.2. Categoría de exposición**

Las normas AGIES poseen tres categorías de exposición, basadas en ASCE y AGIES. Las categorías son: exposición B, C y D.

Exposición B. Para estructuras con una altura al nivel medio del techo menor o igual a 9.1 m. La exposición B debe ser utilizada para superficies de terreno donde existen obstáculos en una distancia mayor a 457 m. Para estructuras con una altura al nivel medio del techo mayor a 9.1 m, la exposición B deber ser cuando los obstáculos prevalecen en una distancia mayor a 792 m o 20 veces la altura del edificio, cual sea la más grande. La exposición B es aplicable para zonas urbanas y suburbanas, áreas boscosas o con obstáculos del tamaño de las estructuras o mayores.

Exposición C. La exposición C es para superficies con obstáculos dispersos con alturas menores a 9.1 m. El área con estas características debe extenderse por lo menos 750 m en cualquier cuadrante de la posición de la estructura analizada.

Exposición D. Se debe utilizar en áreas sin obstáculos o área con superficies de agua a su alrededor. Dichas características deben prevalecer por lo menos en una distancia de 1,524 m o 20 veces la altura del edificio, la que sea mayor. La exposición D también debe ser aplicada en las exposiciones B y C cuando esta se encuentre dentro de un rango menor a 183 m o 20 veces la altura del edificio, la que sea mayor.

Las normas AGIES NSE 2-10 caracterizan a la exposición D como la exposición que posee velocidades básicas de viento de 120 km/h o mayores, y propone que los cuerpos de agua deben de ser de por lo menos 1.5 km.

Para lugares que están entre la transición de una exposición se debe utilizar la exposición que prevea la mayor carga de viento en la estructura.

El análisis del tipo de exposición donde se encontrará la estructura por diseñar puede variar, en algunas ocasiones, de acuerdo a las diferentes caras del edificio, por lo que se debe de realizar el análisis del tipo de exposición la zona más crítica, en este caso la que posea menos obstrucción, para seleccionar la exposición con base en ella.

El ASCE provee la figura 5 para ejemplificar las características de un edificio en exposición B. Como se puede observar, existen diversos obstáculos que impiden que el viento circule a gran velocidad en la parte de la atmósfera que está en contacto con la tierra.

Un ejemplo de una superficie que provee una exposición C se puede observar en la figura 6. Es notorio que no existen obstáculos que se opongan al movimiento del viento.



Figura 5. **Fotografía de edificios con categoría de exposición B**



Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*, p. 546a.

Los edificios cercanos a grandes masas de agua como océanos y lagos de gran magnitud están dentro de la categoría de exposición D. La figura 7 provee un ejemplo de cómo puede verse una categoría de exposición D.

Figura 6. **Fotografía de un ejemplo de categoría de exposición C**



Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 546.

Figura 7. **Fotografía de un ejemplo de categoría de exposición D**

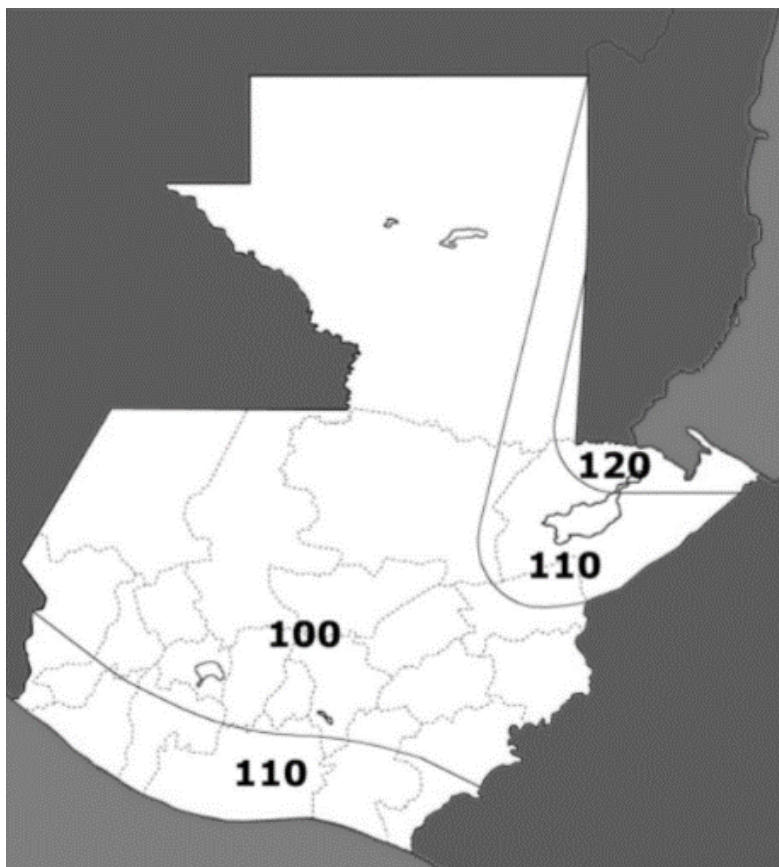


Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 546.

### 2.3. Velocidades de viento en el territorio nacional

Las normas AGIES presentan un mapa de isotacas de la república de Guatemala, con las cuales se deben calcular las presiones de viento para el diseño de las estructuras. El mapa presenta cuatro velocidades de viento mínimas de las cuales prevalece la velocidad de 100 km/h sobre el territorio nacional. La más crítica es la de 120 km/h para la región del caribe.

Figura 8. Velocidades de viento sobre el territorio de Guatemala



Fuente: AGIES, Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección NSE 2-10.

p. 31.

Las velocidades de viento presentadas en el mapa de isotacas se basan en la mayor velocidad de viento que se puede presentar con una probabilidad anual del 2%, medida a 10 m sobre el nivel del suelo para una categoría de exposición C, según lo especificado tanto por las normas AGIES como por ASCE.

Es importante recalcar que las velocidades propuestas por AGIES son las mínimas para realizar el análisis sobre las estructuras. De existir registros de la magnitud de la velocidad del viento en un lugar, se debe analizar si las velocidades son mayores a las propuestas para realizar el cálculo de la velocidad equivalente con la probabilidad y elevación especificada en el párrafo anterior.

#### **2.4. Comportamiento de la arquitectura**

La arquitectura de la estructura juega un papel importante para el análisis de su comportamiento ante la presencia de viento. Los aspectos más importantes de la arquitectura de la estructura son: la geometría externa de la estructura y las aberturas en las superficies exteriores.

Las aberturas en las paredes de los edificios juegan un papel importante debido a que ellas permiten el ingreso del viento a los ambientes. De esta manera, producen diferentes presiones internas. La ASCE presenta tres tipos de presiones internas con base en la localización y dimensión de las aberturas que pueden presentarse en las estructuras.

### 2.4.1. Clasificación de las estructuras por sus aberturas

- Edificio abierto

Un edificio abierto es aquel en el cual el área de las aberturas es igual o mayor 80% del área gruesa a de la superficie en análisis, es decir:

$$A_o \geq 0,8 A_g \quad (2.1)$$

Donde:

$A_o$  Área de las aberturas de la superficie en análisis, en m<sup>2</sup>

$A_g$  Área bruta de la superficie donde se localiza  $A_o$ , en m<sup>2</sup>

- Edificio parcialmente cerrado

Un edificio parcialmente cerrado debe cumplir con dos condiciones en alguna de sus caras. Para ello, se debe suponer que la presión positiva del viento llega a cualquiera de sus caras para analizar si alguna cumple con las siguientes condiciones.

La primera condición establece que el área total de las aberturas en el muro que recibe la presión positiva externa excede la suma de las áreas de las aberturas del resto de caras del edificio, incluyendo muros y techo, por más del 10 por ciento. Esto quiere decir que debe existir una concentración de aberturas en una de las caras del edificio para que se satisfaga esta condición. Si se presenta un edificio que posee grandes aberturas menores al 80 por ciento de área bruta, pero que están distribuidas equitativamente en las caras, el edificio no calificaría como parcialmente cerrado.

La segunda condición establece que el área de las aberturas en el muro que recibe la presión positiva externa excede  $0,37 \text{ m}^2$  o el 1 por ciento del área del muro, el que sea menor, y el porcentaje de las aberturas en el resto de las caras del edificio, con respecto al área bruta de las caras, no excede el 20 por ciento. Esto indica que, en promedio, las aberturas en el resto de las caras del edificio deben ser menores al 20 por ciento del área bruta de los muros.

Las condiciones se pueden representar por medio de las siguientes ecuaciones:

$$A_o > 1,10 A_{oi} \quad (2.2)$$

$$A_o > 0,37 \text{ m}^2 \text{ o } > 0,01 A_g, \text{ la que sea menor, y } A_{oi} / A_{gi} \leq 0,2$$

Donde

$A_o$  Área de aberturas de la superficie en análisis,  $\text{m}^2$

$A_g$  Área bruta de la superficie donde se localiza  $A_o$ , en  $\text{m}^2$

$A_{oi}$  Suma del área de las aberturas de las superficies no analizadas,  $\text{m}^2$

$A_{gi}$  Suma del área bruta de las superficies no analizadas,  $\text{m}^2$

- Edificio cerrado

Un edificio cerrado es aquel que no cumple con las condiciones de edificio abierto y edificio parcialmente cerrado. La mayoría de las edificaciones en Guatemala clasifican como edificios cerrados, como las residencias, edificios en la ciudad, hospitales, entre otros.

Después de los edificios cerrados, los más comunes son los edificios abiertos, como las bodegas sin revestimiento lateral. Los edificios parcialmente

cerrados son poco comunes y se pueden encontrar como bodegas con revestimiento en tres de sus cuatro caras laterales o cualquier estructura que posea una superficie con una concentración de aberturas en una de sus caras.

#### **2.4.2. Coeficiente de presión interna, ( $GC_{pi}$ )**

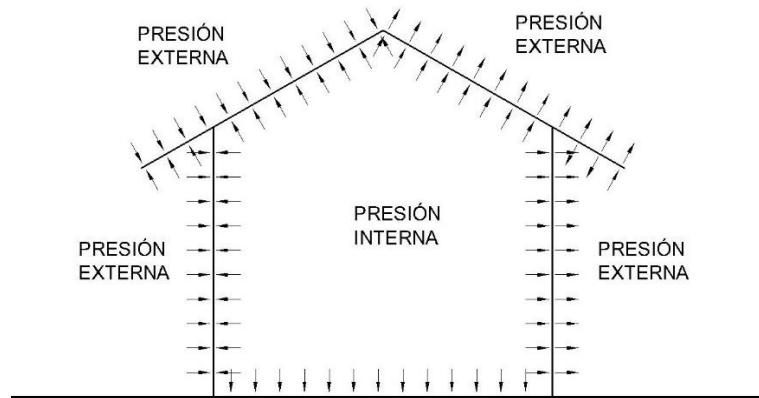
El ASCE establece tres tipos de coeficiente de presión interna según las tres clasificaciones de los edificios con base en sus aberturas. Para un edificio abierto, como es de suponer, la presión interna es igual a cero debido a que el viento circula libremente. Para un edificio parcialmente abierto la presión es de  $\pm 0,55$  por ciento de la presión producida por la velocidad del viento ( $q_z$ ). La presión de una estructura cerrada es de  $\pm 0,18$  de la presión producida por la velocidad del viento ( $q_z$ ).

La razón por la que los coeficientes poseen un signo positivo y negativo es debido a que la presión interna puede contrarrestar o estar a favor de la presión externa, como se puede observar en la figura 9.

La diferencia de los coeficientes de presión interna se debe a que las aberturas en un edificio cerrado están distribuidas en todas las caras del edificio, por lo que las aberturas en el área de la superficie bajo presiones positivas de viento poseen salidas de igual dimensión o muy cercanas, logrando que la mayoría del viento siga fluyendo.

Las normas AGIES presentan un coeficiente de presión neto, o sea, un coeficiente que incluye tanto las presiones externas como internas aplicadas a la superficie en análisis.

Figura 9. **Aritmética de las presiones**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Un edificio parcialmente cerrado no permite que el viento siga fluyendo debido a la concentración de aberturas en una de las caras, creando de esta manera mayor presión interna, lo cual se refleja en el coeficiente de presión interna  $\pm 0,55$ .

Tabla I. **Factores de presión interna según cerramiento**

Clasificación de cerramiento	( $GC_{pi}$ )
Estructuras abiertas	0,00
Estructuras parcialmente cerradas	0,55 -0,55
Estructuras cerradas	0,18 -0,18

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 258.



El coeficiente de presión interna en edificios parcialmente cerrados puede reducirse si, el edificio no posee particiones, como en el caso de una bodega. La reducción se aplica por medio de un factor  $R_i$  que debe de multiplicar al coeficiente de presión interna.

El factor de reducción,  $R_i$ , se calcula de la siguiente manera:

$$R_i = 0,5 \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{V_i}{74\,784\,A_{og}}}} \right) < 1 \quad (2.3)$$

Donde

$V_i$  Volumen interno sin particiones,  $m^3$

$A_{og}$  Área total de todas las aberturas del edificio,  $m^2$

El valor de  $R_i$  debe de ser menor que uno, por lo que no se debe de aplicar el factor de reducción cuando  $R_i$  sea mayor a uno.

## 2.5. Interconexión de la dirección, topografía y altura

La dirección, topografía y altura de una estructura afectan directamente a en las presiones de viento que actuarán sobre ella. Según las descripciones del capítulo 1, el viento es afectado por diferentes factores meteorológicos y topográficos.

### 2.5.1. Factor topográfico del viento

La localización de estructuras en valles por donde se conducen velocidades de viento mayores, debido a que el área de flujo es menor por los

escarpes a los laterales, y las estructuras que se encuentran sobre colinas o montañas son afectadas por los cambios en la velocidad del viento que produce el cambio de sección de la montaña.

Debido a la importancia de la topografía con respecto a las presiones de viento que se puede generar sobre las estructuras, se debe analizar la dirección en la que se edificará la estructura para minimizar el obstáculo que puede generar en la corriente del viento.

La relación entre las presiones producidas por el viento y su altura es directa. Mientras mayor es la altura del edificio, mayor será el área de obstáculo del flujo del viento. Además, en el caso de estructuras que se encuentran en exposición B o C, mientras más alta es la estructura, menor será la protección que las rugosidades del terreno puedan proveer.

La norma ASCE provee un factor topográfico,  $K_{zt}$ , para implementar los cambios abruptos en la topografía del lugar para cualquier categoría de exposición. Para poder utilizar el factor topográfico se deben de satisfacer las siguientes condiciones mínimas:

- Condición 1. La colina, cordillera o escarpe está aislado y sin obstáculos por la característica topográfica de altura importante por lo menos en una distancia de 100 veces la altura (100H) del rasgo topográfico analizado o 3220 m, la que sea menor. La distancia debe ser tomada desde el punto en el que se mide la altura H de la colina, cordillera o escarpe.
- Condición 2. La colina, cordillera o escarpe sobresale por encima de la altura del nivel de los accidentes del terreno en barlovento dentro de la distancia de 3220 m de radio en cualquier cuadrante por un factor de dos o más.

- Condición 3. La estructura está localizada a un medio de la parte superior de la colina, cordillera o cercana a la cima de un acantilado, como se presenta en la figura 10.

- Condición 4:

$$\frac{H}{L_h} \geq 0,2 \quad (2.4)$$

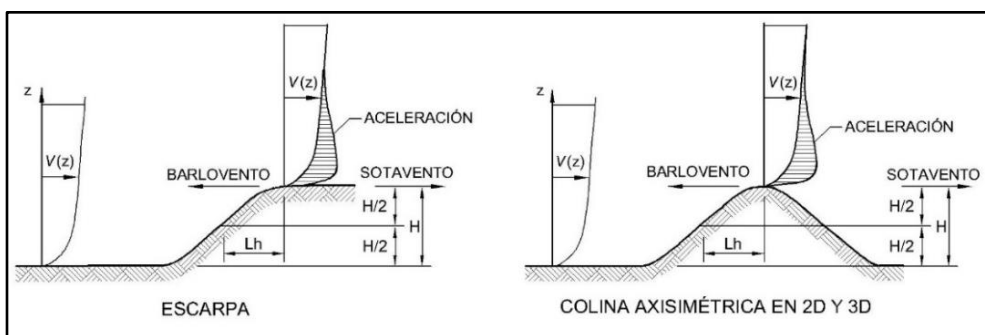
Donde

H Altura de la colina o acantilado, m

$L_h$  Distancia de la cresta de la colina o acantilado en donde la diferencia de elevación es la mitad de la altura de la colina o acantilado, en m.

- Condición 5. H es más grande o igual que 4,5 m para exposición C y D, y 18 m para exposición B.

Figura 10. **Componentes del factor topográfico**



Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 252.

El factor topográfico,  $K_{zt}$ , se describe por la siguiente ecuación:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.5)$$

Donde

$K_1$  Factor para incluir la forma de la topografía y su máximo efecto de aceleración.

$K_2$  Factor para incluir la reducción de la aceleración con una distancia en barlovento o sotavento de la cima.

$K_3$  Factor para incluir la reducción de la velocidad con la altura sobre el terreno local.

$K_1$  se determina con base en la tabla I.

Tabla II. **Parámetros por aceleración sobre colinas y escarpes**

<b>Parámetros por aceleración sobre las colinas y escarpes</b>						
<b>Forma de la colina</b>	<b>K1/(H/Lh)</b>			<b>γ</b>	<b>μ</b>	
	<b>Exposición</b>				<b>Barlovento</b>	<b>Sotavento</b>
	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>			
Cordilleras de dos dimensiones (o valles con H negativa en K1/(H/Lh))	1,30	1,45	1,55	3,0	1,50	1,50
Escarpes de dos dimensiones	0,75	0,85	0,95	2,5	1,50	4,00
Colina asimétrica de tres dimensiones	0,95	1,05	1,15	4,0	1,50	1,50

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 253.*

$K_2$  y  $K_3$  se determinan con base en las siguientes ecuaciones:

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h}\right) \quad (2.6)$$

$$K_3 = e^{-\gamma z / L_h} \quad (2.7)$$

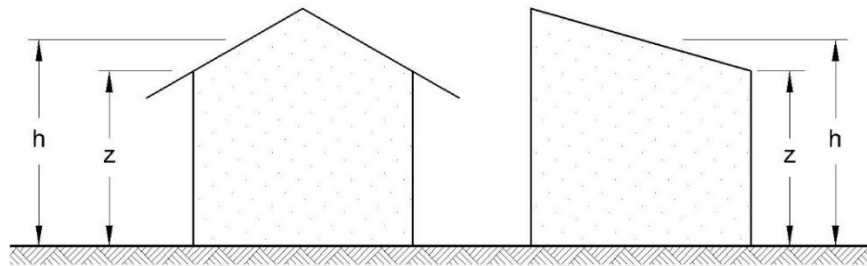
Donde

- x Distancia a barlovento o sotavento de la cima, en m
- $\mu$  Factor de atenuación horizontal
- $L_h$  Distancia barlovento de la cima a la diferencia en elevación del suelo es la mitad de la altura de la colina o acantilado, en m
- $\gamma$  Factor de atenuación de altura
- z Elevación sobre el nivel del sitio de la estructura, en m

La altura del edificio proveerá mayores presiones de viento sobre la estructura debido a que, al estar a una altura mayor, las velocidades de viento se incrementan por el decremento de obstáculos con relación a la altura.

En los métodos de análisis propuestos por el ASCE, la altura del edificio (h) se analiza como la elevación de la mitad del techo con respecto al nivel del suelo. Para incluir esta característica dentro del análisis de las presiones de viento, se debe elegir un coeficiente de presión por velocidad debido a la exposición. El ASCE lo nombra como  $K_z$  o  $K_h$ , siendo  $K_z$  el coeficiente de presión por velocidad debido a la exposición ubicada a la altura z, o sea la altura máxima de los muros sobre el nivel del suelo, y  $K_h$  el coeficiente de presión por velocidad debido a la exposición ubicada a la altura h, o sea la altura a la mitad del techo, tal y como se muestra en la figura 11.

Figura 11. **Medidas h y z en estructuras**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

El factor topográfico no es considerado en las normas AGIES, por lo que se asume que el valor para el factor topográfico es 1, siendo este el valor por defecto propuesto por ASCE en el caso de carencia de información.

### **2.5.2. Factor de direccionalidad del viento**

El factor de direccionalidad,  $K_d$ , del viento es utilizado para el diseño de estructuras al utilizar combinaciones de carga que poseen cargas de viento. El factor de direccionalidad del viento es una reducción de la carga de viento debido dos efectos: el primer efecto es la reducción de la carga de viento debida a la poca probabilidad de que la estructura este sometida a cargas de viento máximas provenientes de cualquier dirección y el segundo es la poca probabilidad de que el máximo coeficiente de presión ocurra en cualquier dirección del viento.

Tabla III. **Factor de direccionalidad del viento**

<b>Tipos de Estructura</b>	<b>Factor direccionalidad, <math>K_d</math></b>
Edificios	
Sistema principal de resistencia de fuerza de viento	0,85
Componentes y revestimiento	0,85
Techos arqueados	0,85
Chimeneas, tanques y estructuras similares	
Cuadrados	0,90
Hexagonales	0,95
Redondos	0,95
Paredes independientes sólidas y señales solidas independientes y unidas	0,85
Señales abiertas y entramado de la malla	0,85
Torres atirantadas	
Triangulares	0,85
Cuadradas	0,85
Rectangulares	0,85
Todas las demás secciones	0,95

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 250.*

### **3. ANÁLISIS GENERAL POR EL MÉTODO DIRECCIONAL**

El análisis del método direccional se utiliza para obtener cargas de viento para diseñar Sistemas principales de resistencia de fuerza de viento, con excepción de los techos arqueados, ya que sus componentes y revestimiento pueden ser diseñados con este método.

#### **3.1. Limitaciones geométricas y condiciones de sitio**

El uso del método direccional, el cual aplica para todas las alturas, depende de las siguientes condiciones:

1. Debe ser una estructura con una forma regular.
2. La estructura en análisis no debe de tener características de respuesta que lo conviertan en una estructura que recibe carga de viento transversal, formación de vórtices, incremento de la vibración con el aumento de la velocidad del viento o que la estructura se localice en un sitio donde pueda estar bajo efectos de canal que produzcan consideraciones especiales para realizar su análisis.

Una estructura de forma regular es aquella que posee la forma de un cubo o rectángulo, sin importar si el techo es plano o a un agua, dos aguas, cuatro aguas, redondo, etc. Según los análisis realizados por la ASCE con base en la prueba del túnel de viento, se observó que las estructuras con formas irregulares cambian la dirección del viento, definiendo un comportamiento



distinto con base en el tipo de irregularidad de la estructura. En algunos casos, como lo comenta el ASCE, las cargas de viento pueden ser menores que las producidas en estructuras de forma regular; sin embargo, es preferible realizar el análisis de una estructura de forma irregular por medio del método del túnel, descrito en el capítulo 31 del ASCE.

La primera condición para utilizar el método direccional está relacionada en con la segunda condición en algunos casos. El viento cruzado puede ser producido por la forma en que la cara recibe la carga positiva de viento y cambia la dirección del mismo.

Es importante que la estructura este analizada para impedir la formación de vórtices. El revestimiento está sometido a tres tipos de momento con base en diferentes direcciones de la aplicación de la carga de viento. Si tenemos una superficie ubicada sobre los ejes "x" y "y", y le aplicamos una carga de viento con dirección paralela al eje "z", podemos producir momentos con respecto a un apoyo paralelo al eje "x" o al eje "y". Ahora, si se supone que el viento posee cierta inclinación con respecto al eje "z", se producirá un momento teniendo eje paralelo al eje "z". Es indispensable entender que, para que se produzca un momento, debe de existir al menos una de las siguientes condiciones:

1. Las cargas de viento son distintas sobre el elemento de revestimiento analizado o la estructura analizada.
2. Si las cargas de viento son iguales en toda el área del revestimiento o estructura analizada, el eje donde están fijadas no está en el centroide de las mismas.

Ambas condiciones se pueden presentar, produciendo el incremento del momento que actúa sobre el elemento.

Según las suposiciones utilizadas en los métodos propuestos por el ASCE, se asumen presiones de viento son perpendiculares al revestimiento de la estructura. Con base en esa suposición se elimina el momento producido en el eje perpendicular a la superficie, en el caso del elemento analizado con anterioridad, se elimina el momento producido sobre el eje "z".

### **3.2. Criterio de selección de variables**

El método direccional utiliza los siguientes parámetros:

1. Velocidad básica del viento,  $V$
2. Factor de direccionalidad del viento,  $K_d$
3. Categoría de exposición
4. Factor topográfico,  $K_{zt}$
5. Clasificación de cerramiento
6. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$
7. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_h$  o  $K_z$
8. Coeficiente de presión externa,  $C_p$  o  $C_N$
9. Efecto de ráfaga,  $G$  o  $G_f$

La velocidad del viento básica, la categoría de exposición, la clasificación de cerramiento, el coeficiente de presión interna y el factor topográfico son los mismos descritos en el capítulo 2.

### 3.2.2. Factor de dirección del viento

El factor de dirección del viento,  $K_d$ , de la tabla III es utilizado por dos razones: (1) La poca probabilidad de que máximos vientos vengan de cualquier dirección y (2) la poca probabilidad de que el coeficiente de presión máximo ocurra en cualquier dirección.

### 3.2.3. Coeficiente de presión de velocidad

El coeficiente de presión de velocidad se basa en el tipo de exposición de la estructura y la altura de análisis. Debido a que la velocidad del viento varía con la altura, el factor  $K_z$  se obtiene de la tabla IV, donde se presentan los coeficientes de presión de velocidad. Usando la altura de las paredes desde el nivel del suelo,  $z$ , y el factor  $K_h$  se obtiene de la misma tabla valiéndose de la altura media del techo,  $h$ .

### 3.2.4. Efecto ráfaga

El efecto ráfaga  $G$  es utilizado para estructuras rígidas y el efecto ráfaga,  $G_f$ , es utilizado para estructuras flexibles. Las estructuras rígidas presentan una frecuencia fundamental de 1 Hz o mayor y las estructuras flexibles poseen una frecuencia fundamental menor que 1 Hz. El factor  $G$  se debe utilizar con un valor de 0.85 o ser calculado por la siguiente ecuación:

$$G = 0.925 \left( \frac{1 + 1.7g_Q I_z Q}{1 + 1.7g_V I_z} \right) \quad (3.1)$$

$$I_z = c \left( \frac{10}{z} \right)^{1/6} \quad (3.2)$$

Donde

$I_{\bar{z}}$  Es la intensidad de la turbulencia a la altura  $\bar{z}$ , donde  $\bar{z}$  es la altura equivalente de la estructura definida como  $0.6h$ , pero no menor que  $z$  mínima en la tabla V.

Tabla IV. **Coefficientes de presión de velocidad**

Altura sobre el nivel del suelo, $z$ , en m	Exposición		
	B	C	D
0 - 4,60	0,57	0,85	1,03
6,10	0,62	0,90	1,08
7,60	0,66	0,94	1,12
9,10	0,70	0,98	1,16
12,20	0,76	1,04	1,22
15,20	0,81	1,09	1,27
18,00	0,85	1,13	1,31
21,30	0,89	1,17	1,34
24,40	0,93	1,21	1,38
27,40	0,96	1,24	1,40
30,50	0,99	1,26	1,43
36,60	1,04	1,31	1,48
42,70	1,09	1,36	1,52
48,80	1,13	1,39	1,55
54,90	1,17	1,43	1,58
61,00	1,20	1,46	1,61
76,20	1,28	1,53	1,68
91,40	1,35	1,59	1,73
106,70	1,41	1,64	1,78
121,90	1,47	1,69	1,82
137,20	1,52	1,73	1,86
152,40	1,56	1,77	1,89

Notas:

1. La interpolación lineal es permitida para los valores intermedios de  $z$ .
2. Las categorías de exposición están descritas en el capítulo 2.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 261.

Tabla V. **Z mínima con base en la categoría de exposición**

Exposición	$\alpha$	$z_g$ (m)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{a}$	$\bar{b}$	c	$\ell$ (m)	$\bar{\epsilon}$	$z_{min}$ (m)
A	7,0	365,76	0,14	0,84	1/4,0	0,45	0,30	97,54	1/3,0	9,14
B	9,5	274,32	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152,40	1/5,0	4,57
C	11,5	213,36	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198,12	1/8,0	2,13

$z_{min}$  = la altura mínima utilizada para asegurar que la altura equivalente  $\bar{z}$  es mayor a  $0.6h$  o  $Z_{min}$ .  
Para estructuras con  $h \leq z_{min}$ ,  $\bar{z}$  debe de ser tomada como  $z_{min}$ .

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 256.

Q : Respuesta inicial calculada por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,63 \left( \frac{B+h}{L_z} \right)^{0,63}}} \quad (3.3)$$

Donde

B Dimensión horizontal de la estructura medida normal a la dirección del viento.

h Altura media del techo

$L_z$  Escala integrada de longitud de la turbulencia a la altura equivalente,  $z$ , calculada con la siguiente ecuación:

$$L_z = \ell \left( \frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (3.4)$$

En donde  $\ell$  y  $\bar{\epsilon}$  son constantes listadas en la tabla III.

El factor  $G_f$  para estructuras flexibles es calculado por medio de la siguiente ecuación:

$$G_f = 0,925 \left( \frac{1 + 1,7 I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1,7 g_v I_z} \right) \quad (3.5)$$

Donde  $g_Q$  y  $g_v$  deben ser tomados como 3.4 y  $g_R$  se debe calcular por la siguiente ecuación:

$$g_R = \sqrt{21 \ln(3600n_1)} + \frac{0,577}{\sqrt{2 \ln(3600n_1)}} \quad (3.6)$$

El factor  $R$  utilizado para calcular el factor  $G_f$  debe ser calculado por la ecuación:

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0,53 + 0,47 R_L)} \quad (3.7)$$

Donde

$R_n$  se debe de calcular por con la ecuación:

$$R_n = \frac{7,47 N_1}{(1 + 10,3 N_1)^{5/3}} \quad (3.8)$$

$N_1$  se calcula con la ecuación 3.9:

$$N_1 = \frac{n_1 L_z}{\bar{V}_z} \quad (3.9)$$

Donde  $n_1$  es la frecuencia fundamental natural de la estructura. ASCE propone las siguientes aproximaciones,  $n_a$ , para poder utilizar como el valor de  $n_1$ :

Para estructuras de marcos de acero resistentes a momento:

$$n_a = 22,2/h^{0,8} \quad (3.10)$$

Para estructuras de marcos de concreto resistentes a momento:

$$n_a = 43,5/h^{0,9} \quad (3.11)$$

Para estructuras de concreto y acero con otro sistema de resistencia de fuerza lateral:

$$n_a = 75/h \quad (3.12)$$

Para estructuras de muros de corte de concreto o acero, es permitido utilizar la siguiente aproximación:

$$n_a = 385 (C_w)^{0,5}/h \quad (3.13)$$

Donde

$$C_w = \frac{9,30}{A_B} \sum_{i=1}^n \left(\frac{h}{h_i}\right)^2 \frac{10,76 A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_i}{D_i}\right)^2\right]} \quad (3.14)$$

- h Altura media del techo (m)
- n Número de muros de corte en la estructura que resisten la fuerza lateral en la dirección considerada.
- $A_B$  Área de la base de la estructura (m<sup>2</sup>)
- $A_i$  Área de la sección transversal horizontal del muro de corte “i” (m<sup>2</sup>)
- $D_i$  Longitud del muro de corte “i” (m)
- $h_i$  Altura del muro de corte “i” (m)

Los valores de  $R_h$ ,  $R_B$  y  $R_\ell$  deben ser calculados con la siguiente ecuación:

$$R_\ell = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2}(1 - e^{-2\eta}) \quad (3.15)$$

La ecuación es aplicable para  $\eta$  mayor a cero. En el caso de  $\eta$  igual a cero,  $R_\ell$  es igual a 1. Para calcular los factores  $R_h$ ,  $R_B$  y  $R_L$ , se debe de sustituir los siguientes valores de  $\eta$  en la ecuación 3.15, utilizada para calcular  $R_\ell$ .

- $n_1$  Frecuencia fundamental natural
- $R_\ell$   $R_h$  utilizando  $\eta = 4.6n_1h / \bar{V}_z$
- $R_\ell$   $R_B$  utilizando  $\eta = 4.6n_1B / \bar{V}_z$
- $R_\ell$   $R_L$  utilizando  $\eta = 4.6n_1L / \bar{V}_z$
- $\beta$  Coeficiente de amortiguamiento, por ciento de crítico (es decir, el 2% uso 0.02 en la ecuación)
- $\bar{V}_z$  Velocidad del viento promedio por hora calculado con la siguiente ecuación:

$$\bar{V}_z = \bar{v} \left( \frac{z}{10} \right)^{\bar{\alpha}} \quad (3.15)$$



Donde  $\bar{b}$  y  $\bar{\alpha}$  son constantes que se encuentran en la tabla III y  $V$  es la velocidad del viento en m/s.

### 3.2.5. Presión de velocidad

Con base en los parámetros previamente descritos, el cálculo de la presión de velocidad utilizada para el cálculo de carga de viento en la estructura con base en la siguiente ecuación:

$$q_{z,h} = 0,613K_zK_{zt}K_dV^2 \quad (3.16)$$

Donde

- $K_d$  Factor de dirección
- $K_z$  Coeficiente de presión de velocidad
- $K_{zt}$  Factor topográfico
- $V$  Velocidad básica del viento, m/s

El coeficiente 0,613 debe ser utilizado cuando no se posea suficiente información climatológica para justificar un valor distinto.

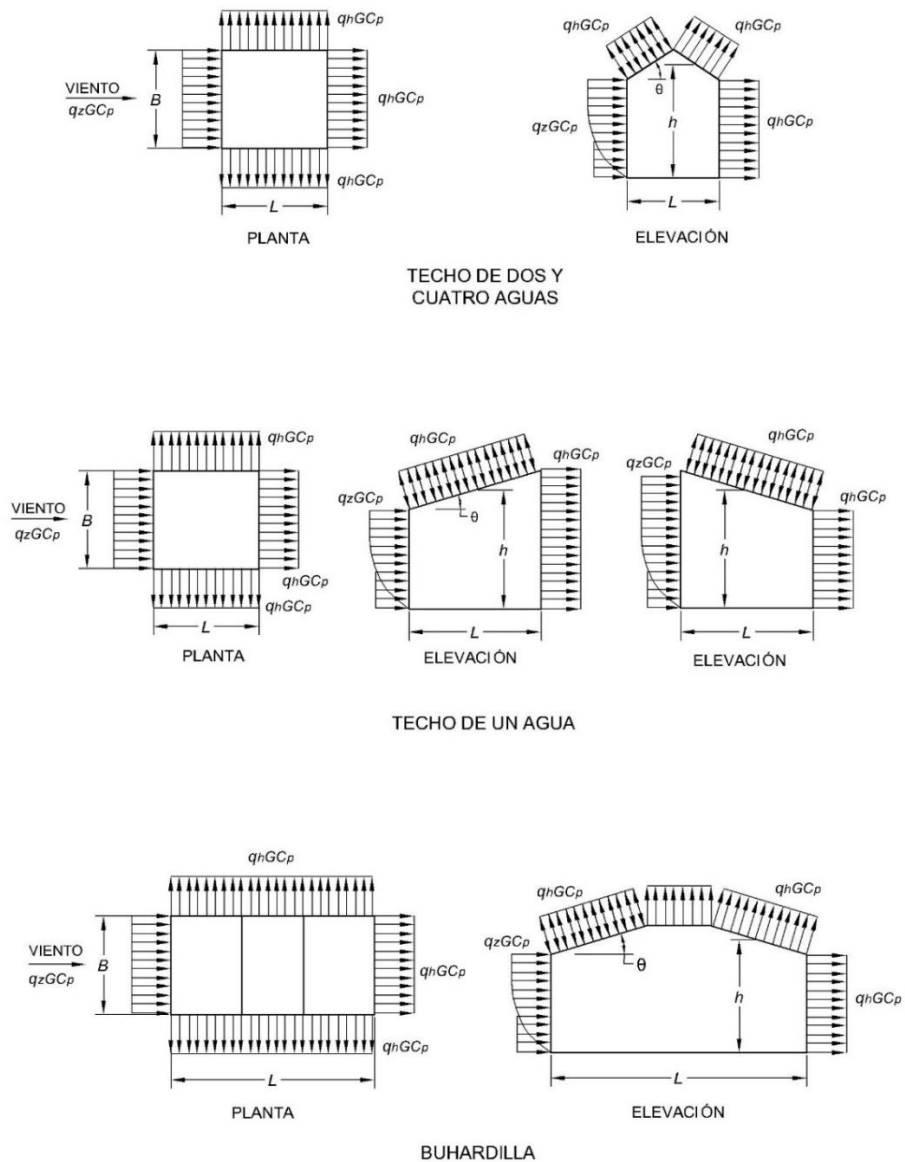
### 3.2.6. Coeficiente de presión externa

El coeficiente de presión externa dependerá del tipo de superficie en análisis. Existe un coeficiente específico para los muros y uno, para cada tipo de techo, exactamente como se describe en las figuras 12,13,14,15,16,17,18 y 19.

Para estructuras abiertas el coeficiente de presión externa toma el nombre de coeficiente de presión neta,  $C_N$ , debido a que no existe una presión interna

distinta a la presión externa debido a las grandes aberturas que dejan fluir el viento sin mayor oposición.

Figura 12. Aplicación de presiones de viento externas



Fuente: American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 263.

Figura 13. Coeficiente de presión externa,  $C_p$ , para techos y muros

COEFICIENTE DE PRESIÓN DEL TECHO, $C_p$ , PARA UTILIZAR CON $q_h$													
Dirección del Viento	Barlovento										Sotavento		
	h/L	Ángulo, $\theta$ (grados)								Ángulo, $\theta$ (grados)			
		10	15	20	25	30	35	45	$\geq 60$	10	15	$\geq 20$	
Normal a la cumbrera por $\theta \geq 10^\circ$	$\leq 0.25$	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	0.0*				-0.3	-0.5	-0.6
	0.5	-0.18	0.0*	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.01 $\theta$				
		-0.9	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	0.0*			-0.5	-0.5	-0.6
$\geq 1.0$	-0.18	-0.18	0.0*	0.2	0.2	0.3	0.4	0.01 $\theta$					
Normal a la cumbrera por $\theta < 10^\circ$ y paralelo a la cumbrera para todos los $\theta$	$\leq 0.5$	Distancia horizontal desde borde de barlovento				Cp		* El valor es proporcionado con el propósito de la interpolación					
		0 a h/2				-0.9, -0.18							
		h/2 a h				-0.9, -0.18							
		h a 2h				-0.5, -0.18							
	$\geq 1.0$	> 2h				-0.3, -0.18		** El valor puede ser reducido linealmente con el área sobre la que se aplica con los siguientes factores.		Área (m <sup>2</sup> )		Factor de reducción	
		0 a h/2				-1.3**, -0.18				$\leq 9.3$		1	
	> h/2				-0.7, -0.18		$23.2$		0.9				
							$\geq 92.9$		0.8				

**NOTAS:**

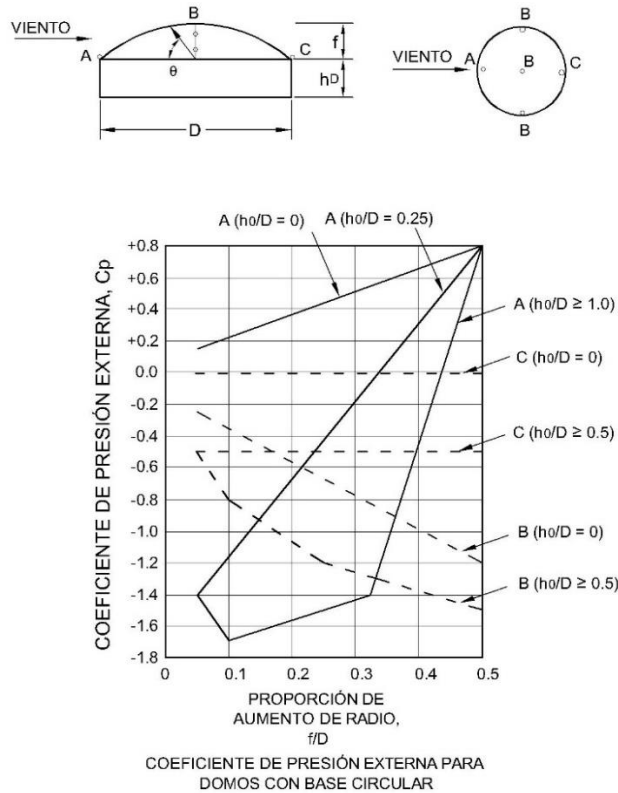
- Los signos de más y menos significan que la presión actúa hacia y fuera de la superficie, respectivamente.
- La interpolación lineal es permitida para valores de L/B, h/L y  $\theta$ . La interpolación debe de ser realizada entre valores del mismo signo. Cuando no hay valores del mismo signo, asumir 0.0 para propósitos de interpolación.
- Donde dos valores de  $C_p$  están listados, esto indica que la inclinación del techo en barlovento está sometido a presiones positivas y negativas y la estructura debe de ser diseñada para ambas condiciones. La interpolación para valores intermedios de h/L debe de ser solamente entre valores de  $C_p$  del mismo signo.
- Para techos de un agua, la superficie total del techo es de igual manera una superficie en barlovento y sotavento.
- Para estructuras flexibles, usar  $G_f$  apropiado como se determino en el inciso 3.2 de este trabajo de graduación.
- Referirse a las figuras 14 y 15 para domos y techos curvos.
- Notación:

B : Dimensión horizontal de la estructura, en metros, medida normal a la dirección del viento.  
 L : Dimensión horizontal de la estructura, en metros, medida paralela a la dirección del viento.  
 h : Altura media del techo en metros, excepto cuando la inclinación del techo es menor a  $10^\circ$ , en ese caso se debe de utilizar la altura z.  
 z : Altura sobre el nivel del suelo en metros.  
 G : Factor del efecto ráfaga.  
 $q_z, q_h$  : Presión de velocidad en  $N/m^2$ , evaluado a la altura respectiva.  
 $\theta$  : Ángulo de inclinación del techo.

- Para techos de buhardilla, la superficie horizontal mas alta y la superficie inclinada en sotavento deben de ser analizadas como superficies en sotavento de la tabla.
- Excepto para el Sistema de Resistencia de Fuerza de Viento en el techo, conformado por marcos resistentes a momentos, el cortante horizontal no debe ser menos que el determinado al pasar por alto las fuerzas de viento en la superficie del techo.  
 Para inclinaciones del techo mayores a  $80^\circ$ , usar  $C_p = 0.8$

Fuente: American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 264.

Figura 14. Coeficientes de presión externa,  $C_p$ , para domos o cúpulas



**Notas:**

1. Deben de considerarse dos casos de cargas:

- Caso A. Los valores de  $C_p$  entre A y B y entre B y C deben de determinarse por medio de una interpolación lineal a lo largo de los arcos en el domo paralelo a la dirección del viento.
- Caso B.  $C_p$  debe de ser el valor constante de A para  $\theta \leq 25$  grados, y debe de ser determinado por medio de interpolación lineal desde 25 grados a B y desde B a C.

2. Los valores indicados de  $C_p$  para ser usados con  $q(hD+f)$  donde  $hD+f$  es la altura a la parte superior del domo.
3. Los signos positivo y negativo significan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
4.  $C_p$  es constante en la superficie del domo para arcos o círculos perpendiculares a la dirección del viento: por ejemplo, el arco pasando a través de B-B y todos los arcos paralelos a B-B.
5. Para valores de  $hD/D$  entre los listados en las curvas de la gráfica, interpolación lineal será permitida.
6.  $\theta = 0$  grados de la línea de horizonte del domo,  $\theta = 90$  grados al punto central más alto del domo. F es la medida desde el horizonte a lo más alto.
7. El corte total horizontal no debe de ser menos que el determinado al pasar por alto las fuerzas de viento en las superficies del techo.
8. Para los valores de  $f/D$  menores a 0.05, usar figura 13.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 265.*

Figura 15. **Coefficientes de presión externa,  $C_p$ , para techos arqueados**

Condiciones	Relación entre la dimensión de la flecha y la cuerda del arco, $r$	$C_p$		
		Cuarta parte en barlovento	Mitad central	Cuarta parte en sotavento
Techo en estructura elevada	$0 < r < 0.2$	-0.9	$-0.7-r$	-0.5
	$0.2 \leq r < 0.3^*$	$1.5r-0.3$	$-0.7-r$	-0.5
	$0.3 \leq r \leq 0.6$	$2.75r-0.7$	$-0.7-r$	-0.5
Techo desde el nivel del suelo	$0 < r \leq 0.6$	$1.4r$	$-0.7-r$	-0.5

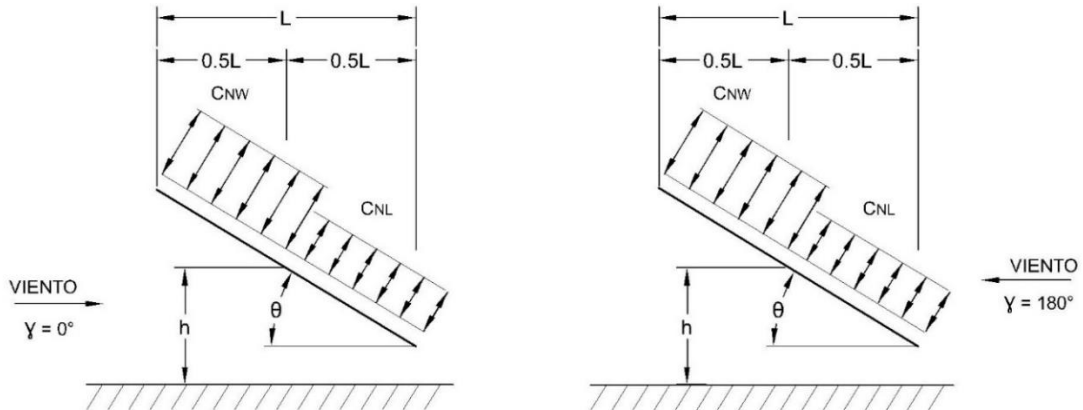
\* Cuando la relación entre la dimensión flecha y la cuerda es  $0.2 \leq r \leq 0.3$ , coeficientes alternativos dados por  $6r - 2.1$  deben ser usados para la cuarta parte en barlovento.

**Notas:**

1. Los valores listados son para la determinación de la carga promedio en el sistema de resistencia de fuerza de viento.
2. Los signos más y menos representan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
3. Para viento direccionado paralelo al eje del arco, usar coeficiente de presión de la figura 12 con el viento direccionado paralelo a la parte superior del techo.
4. Para componentes y revestimiento, (1) en el perímetro del techo, usar el coeficiente de presión externa del capítulo 5, (2) para las áreas restantes, usar el coeficiente de presión externa de esta tabla multiplicado por 0.87.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 266.*

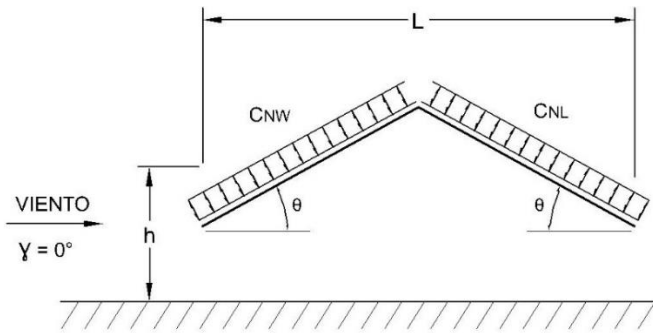
Figura 16. **Coefficiente de presión neto,  $C_N$ , para estructuras abiertas de un agua**



Ángulo del techo $\theta$	Caso de carga	Dirección del viento, $\gamma = 0^\circ$				Dirección del viento, $\gamma = 180^\circ$			
		Flujo del viento libre		Flujo del viento obstaculizado		Flujo del viento libre		Flujo del viento obstaculizado	
		CNW	CNL	CNW	CNL	CNW	CNL	CNW	CNL
0°	A	1.2	0.3	-0.5	-1.2	1.2	0.3	-0.5	-1.2
	B	-1.1	-0.1	-1.1	-0.6	-1.1	-0.1	-1.1	-0.6
7.5°	A	-0.6	-1	-1	-1.5	0.9	1.5	-0.2	-1.2
	B	-1.4	0	-1.7	-0.8	1.6	0.3	0.8	-0.3
15°	A	-0.9	-1.3	-1.1	-1.5	1.3	1.6	0.4	-1.1
	B	-1.9	0	-2.1	-0.6	1.8	0.6	1.2	-0.3
22.5°	A	-1.5	-1.6	-1.5	-1.7	1.7	1.8	0.5	-1
	B	-2.4	-0.3	-2.3	-0.9	2.2	0.7	1.3	0
30°	A	-1.8	-1.8	-1.5	-1.8	2.1	2.1	0.6	-1
	B	-2.5	-0.5	-2.3	-1.1	2.6	1	1.6	0.1
37.5°	A	-1.8	-1.8	-1.5	-1.8	2.1	2.2	0.7	-0.9
	B	-2.4	-0.6	-2.2	-1.1	2.7	1.1	1.9	0.3
45°	A	-1.6	-1.8	-1.3	-1.8	2.2	2.5	0.8	-0.9
	B	-2.3	-0.7	-1.9	-1.2	2.6	1.4	2.1	0.4

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 267.

Figura 17. Coeficiente de presión neto,  $C_N$ , para techos a dos aguas



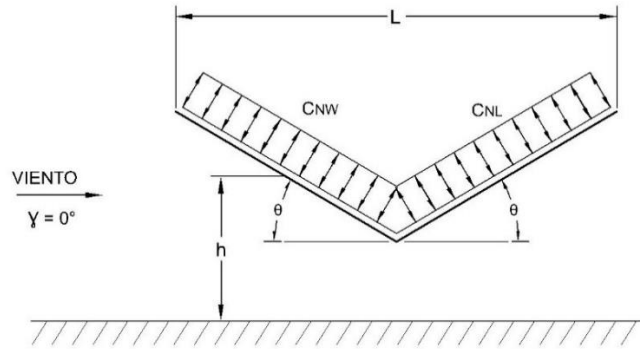
Ángulo del techo, $\theta$	Caso de carga	Dirección del viento, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$			
		Flujo del viento libre		Flujo del viento obstaculizado	
		CNW	CNL	CNW	CNL
7.5°	A	1.1	-0.3	-1.6	-1
	B	0.2	-1.2	-0.9	-1.7
15°	A	1.1	-0.4	-1.2	-1
	B	0.1	-1.1	-0.6	-1.6
22.5°	A	1.1	0.1	-1.2	-1.2
	B	-0.1	-0.8	-0.8	-1.7
30°	A	1.3	0.3	-0.7	-0.7
	B	-0.1	-0.9	-0.2	-1.1
37.5°	A	1.3	0.6	-0.6	-0.6
	B	-0.2	-0.6	-0.3	-0.9
45°	A	1.1	0.9	-0.5	-0.5
	B	-0.3	-0.5	-0.3	-0.7

**Notas:**

1. CNW y CNL, denota presiones netas (contribuciones de la parte superior e inferior de la superficie) para la parte del techo en barlovento y sotavento, respectivamente.
2. El flujo libre del viento denota un flujo del viento relativamente sin obstrucciones con bloqueo de menos o igual al 50%. El flujo del viento obstruido denota objetos debajo del techo que inhiben el flujo del viento (bloqueo mayor a 50%)
3. Para valores de  $\theta$  entre 7.5° y 45°, la interpolación lineal es permitida. Para valores de  $\theta$  menores a 7.5°, usar coeficientes de carga de techo a un agua.
4. Los valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera la superficie superior del techo, respectivamente.
5. Todos los casos de carga mostrados para cada ángulo del techo deben de ser investigados.
6. Notación:
  - L : dimensión horizontal del techo, medida en la dirección del viento.
  - h : altura media del techo, m
  - $\gamma$  : dirección del viento, grados
  - $\theta$  : ángulo del plano del techo con la horizontal, grados

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 268.

Figura 18. **Coefficiente de presión neto,  $C_N$ , para techos libres acanalados**



Ángulo del techo, $\theta$	Caso de carga	Dirección del viento, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$			
		Flujo del viento libre		Flujo del viento obstaculizado	
		CNW	CNL	CNW	CNL
7.5°	A	-1.1	0.3	-1.6	-1
	B	-0.2	1.2	-0.9	-1.7
15°	A	-1.1	0.4	-1.2	-1
	B	0.1	1.1	-0.6	-1.6
22.5°	A	-1.1	-0.1	-1.2	-1.2
	B	-0.1	0.8	-0.8	-1.7
30°	A	-1.3	-0.3	-1.4	-0.7
	B	-0.1	0.9	-0.2	-1.1
37.5°	A	-1.3	-0.6	-1.4	-0.6
	B	0.2	0.6	-0.3	-0.9
45°	A	-1.1	-0.9	-1.2	-0.5
	B	0.3	0.5	-0.3	-0.7

**Notas:**

1. CNW y CNL, denota presiones netas (contribuciones de la parte superior e inferior de la superficie) para la parte del techo en barlovento y sotavento, respectivamente.

2. El flujo libre del viento denota un flujo del viento relativamente sin obstrucciones con bloqueo de menos o igual al 50%. El flujo del viento obstaculado denota objetos debajo del techo que inhiben el flujo del viento (bloqueo mayor a 50%).

3. Para valores de  $\theta$  entre 7.5° y 45°, la interpolación lineal es permitida. Para valores de  $\theta$  menores a 7.5°, usar coeficientes de carga de techo a un agua.

4. Los valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera la superficie superior del techo, respectivamente.

5. Todos los casos de carga mostrados para cada ángulo del techo deben de ser investigados.

6. Notación:

L : dimensión horizontal del techo, medida en la dirección del viento.

h : altura media del techo, m

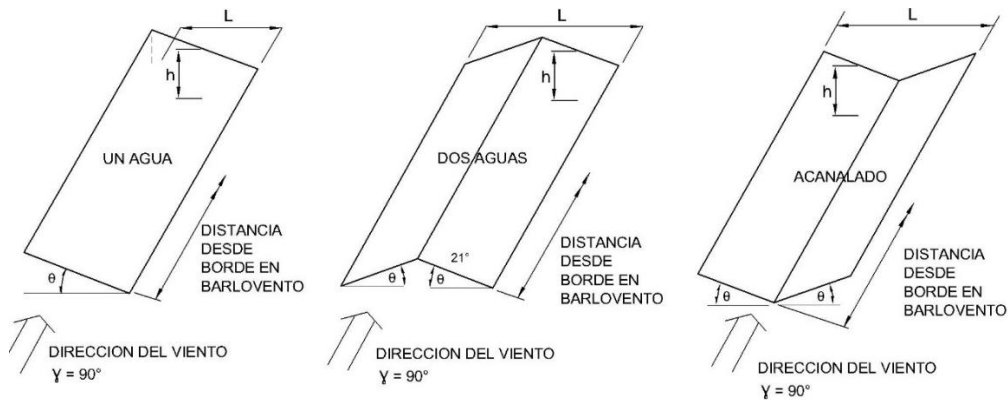
$\gamma$  : dirección del viento, grados

$\theta$  : ángulo del plano del techo con la horizontal, grados

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 269.*



Figura 19. **Coeficiente de presión neto,  $C_N$ , para cargas de viento paralelas a la cumbrera**



Distancia horizontal desde borde en barlovento	Ángulo del techo	Caso de carga	Flujo libre del viento	Flujo obstruido del viento
			$C_N$	$C_N$
$\leq h$	Todas las formas	A	-0.8	-1.2
	$\theta \leq 45^\circ$	B	0.8	0.5
$>h, \leq 2h$	Todas las formas	A	-0.6	-0.9
	$\theta \leq 45^\circ$	B	0.5	0.5
$> 2h$	Todas las formas	A	-0.3	-0.6
	$\theta \leq 45^\circ$	B	0.3	0.3

**Notas:**

1.  $C_N$  denota la presión neta (contribuciones de la parte superior e inferior de la superficie).
2. El flujo libre del viento denota un flujo del viento relativamente sin obstrucciones con bloqueo de menos o igual al 50%. El flujo del viento obstruido denota objetos debajo del techo que inhiben el flujo del viento (bloqueo mayor a 50%).
3. Los valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera la superficie superior del techo, respectivamente.
4. Todos los casos de carga mostrados para cada ángulo del techo deben de ser investigados.
5. Para techos de un agua con teta menor a 5 grados, los valores de  $C_n$  incluso aplican para casos donde gama es igual a cero grados y 0.05 menos o igual a  $h/L$  menor o igual a 0.25. Ver figura 16 para otros casos.
6. Notación:
  - L : dimensión horizontal del techo, medida en la dirección del viento.
  - h : altura media del techo, m
  - $\gamma$  : dirección del viento, grados
  - $\theta$  : ángulo del plano del techo con la horizontal, grados

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 270.

### **3.3. Cálculo de presión de viento**

La obtención de los parámetros previamente calculados tiene como finalidad encontrar la carga de viento, en forma de presión, sobre la estructura analizada. Existen dos formas de análisis según el ASCE 7-10, la primera es para el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento y la segunda es para una estructura de diafragma simple que esté cerrada (la segunda forma de análisis es una simplificación del método para calcular las presiones de viento sobre el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, por lo que no se desarrollara en este trabajo de graduación).

Un diafragma simple es definido por siete características según el IBC en su sección 1609.2.

1. Es una estructura cerrada, como se definió en los tipos de cerramiento.
2. La altura media del techo,  $h$ , debe de ser igual o menor a 18,28 m, en el caso del ASCE 7-10,  $h$  está clasificada de dos maneras: en las estructuras clase uno, la altura máxima es de 18,28 m y en la clase dos la altura máxima esta entre 18.28 m y 48.8 m.
3. La altura media del techo,  $h$ , no debe exceder la menor dimensión horizontal.
4. La estructura posee una sección transversal aproximadamente simétrica.
5. El edificio no posee juntas de expansión o separaciones estructurales dentro del mismo.
6. Las cargas de viento se transmiten a través del piso y del diagrama del techo a los sistemas verticales de resistencia de fuerza lateral.

7. Si la estructura posee marcos resistentes a momentos, la pendiente del techo no debe de exceder treinta grados.

### 3.3.2. Sistema principal de resistencia de fuerza de viento

Para calcular la presión de viento se integran los parámetros por medio de tres ecuaciones. La primera ecuación se utiliza para estructuras rígidas cerradas y parcialmente cerradas, la segunda ecuación es para estructuras flexibles cerradas y parcialmente cerradas y la tercera ecuación es para estructuras abiertas.

- Estructuras rígidas cerradas y parcialmente cerradas

La presión de viento actuando sobre una estructura rígida cerrada o parcialmente cerrada se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.17)$$

Donde

- $q$   $q_z$  para muros en barlovento evaluados a una altura  $z$  sobre el suelo
- $q$   $q_h$  para muros, muros laterales y techo en sotavento, evaluados a una altura  $h$
- $q_i$   $q_h$  para muros, muros laterales, muros en sotavento y techos para estructuras cerradas y para presión interna negativa evaluada en estructuras parcialmente cerrada
- $q_i$   $q_z$  para presión interna positiva evaluada en estructuras parcialmente cerradas donde  $z$  es la altura definida como el nivel de la abertura más alta en la estructura que puede afectar la presión

positiva interna. Para presión interna positiva,  $q_i$  puede ser conservadoramente evaluada a la altura  $h$  ( $q_i = q_h$ )

- G Es el factor de efecto ráfaga
- $C_p$  Coeficiente de presión externa
- $(GC_{pi})$  Coeficiente de presión interna

$q$  y  $q_i$  debe de ser evaluadas simultáneamente en barlovento y sotavento, para muros y las superficies del techo.

- Estructuras flexibles cerradas y parcialmente cerradas

La presión de viento en estructuras flexibles se calcula con base en la estructura de las estructuras rígidas con la diferencia de algunos factores. La ecuación de presión de viento para estructuras flexibles es la siguiente:

$$p = qG_f C_p - q_i(GC_{pi}) \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.18)$$

Donde

$q$ ,  $q_i$ ,  $C_p$ , y  $(GC_{pi})$  son las mismas que las definidas para las estructuras rígidas y  $G_f$  es el factor de ráfaga para estructuras flexibles.

- Estructuras abiertas

Las estructuras abiertas con techos planos, de un agua y de dos aguas, deben diseñarse con base en la presión del viento calculada con la siguiente ecuación:

$$p = q_h G C_N \quad (3.19)$$

Donde

$q_h$  Presión de velocidad evaluada a la altura promedio del techo

G Factor de efecto ráfaga

$C_N$  Coeficiente de presión neta

El coeficiente de presión neta,  $C_N$ , considera las presiones provenientes de las superficies superiores e inferiores. Los valores positivos y negativos del coeficiente corresponden a la presión actuando hacia la superficie o alejándose de ella.

Existen otros elementos que requieren un análisis diferente en las estructuras, los elementos son:

- Salientes del techo

Las salientes del techo en el barlovento deberán ser analizadas utilizando una presión externa positiva aplicada en la parte inferior. El coeficiente de presión externa,  $C_p$ , debe de utilizarse con un valor de 0.8 y ser combinado con las cargas aplicadas en la parte superior de la saliente.

- Parapetos

El diseño de parapetos no hace diferencia si el parapeto forma parte de una estructura rígida o flexible con diferentes tipos de techos. Las presiones sobre el parapeto se aplican como se muestra en la figura 20 y calculan con base en la siguiente ecuación:

$$p_p = q_p (G C_{pn}) \quad (\text{N/m}^2) \quad (3.20)$$

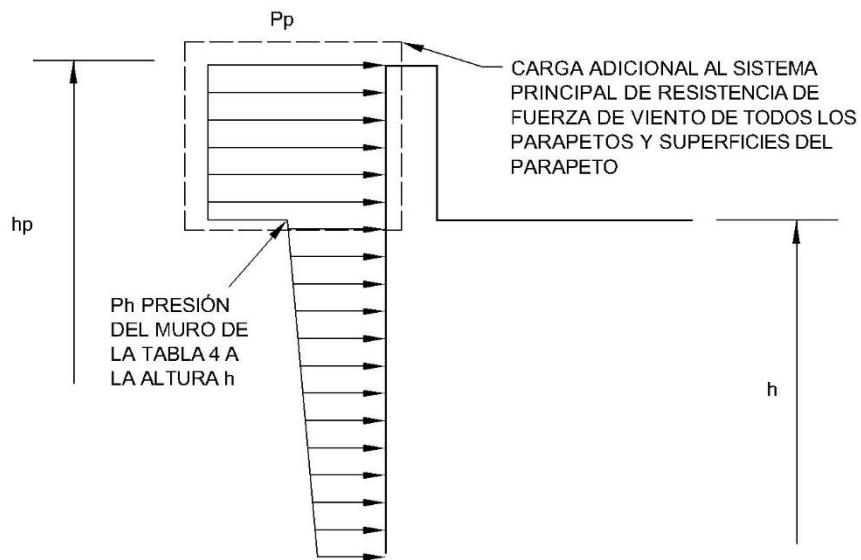
Donde

$p_p$  Presiones netas combinadas basadas en el parapeto recibe presiones sobre sus superficies frontales y traseras.

$q_p$  Presión de velocidad evaluada en la cima del parapeto.

$(GC_{pn})$  Coeficiente de presión neta combinado, siendo  $+1,5$  para parapetos en barlovento y  $-1,0$  para parapetos en sotavento.

Figura 20. **Carga de viento sobre parapetos en estructuras de diafragma simple cerrado**



Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 276.*

### 3.4. Casos de diseño de carga de viento

El capítulo 27 del ASCE establece que, al utilizar el método direccional, el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento debe ser diseñado bajo cuatro casos establecidos en la figura 21, excepto las estructuras con alturas menores a nueve metros diseñadas como estructuras flexibles, las cuales solo deben de ser diseñadas con el caso 1 y el caso 3 de la figura 13.

La excentricidad utilizada para analizar los casos de la figura 13 para estructuras rígidas se debe medir desde el centro geométrico de la cara de la estructura y debe de ser considerada para cada eje principal, o sea,  $e_x$  y  $e_y$ .

La excentricidad de las estructuras flexibles debe calcularse por la siguiente ecuación, considerándola para cada eje principal.

$$e = \frac{e_Q + 1.7(l_z) \sqrt{(g_Q \cdot Q \cdot e_Q)^2 + (g_R \cdot R \cdot e_R)^2}}{1 + 1.7(l_z) \sqrt{(g_Q \cdot Q)^2 + (g_R \cdot R)^2}} \quad (3.21)$$

Donde

$e_Q$  Excentricidad e definida para estructuras rígidas

$e_R$  Distancia entre el centro de corte elástico y el centro de masa de cada piso

$l_z$ ,  $g_Q$ ,  $Q$ ,  $g_R$  y  $R$  deben ser obtenidas como se definió previamente.

El signo de la excentricidad debe de ser utilizado de acuerdo con el resultado más severo para la estructura.

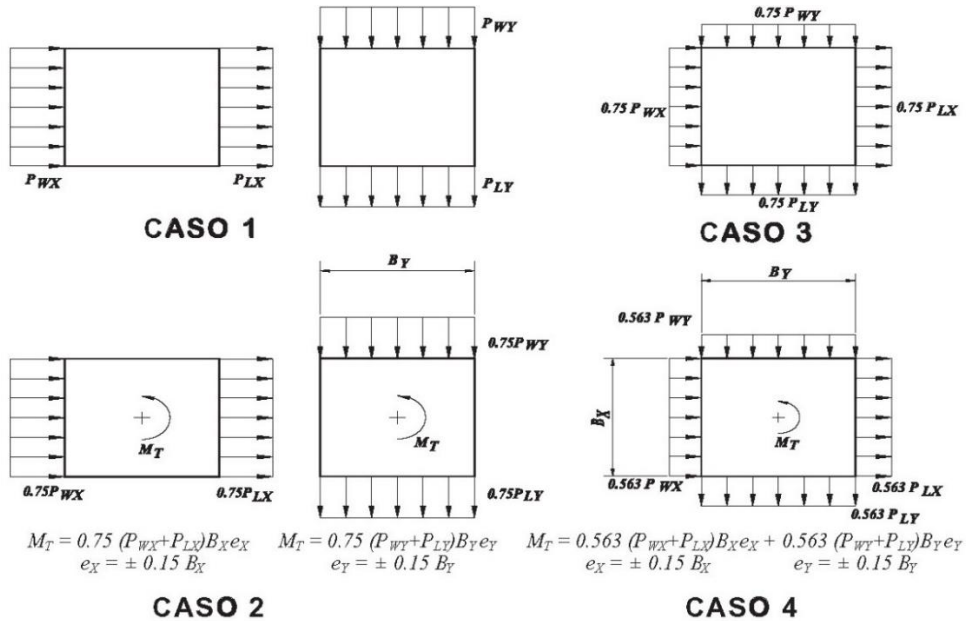
### 3.5. Cargas mínimas de viento

La carga mínima que establece el ASCE 7-10 son de 0,77 kN/m<sup>2</sup> para los muros de las estructuras cerradas y parcialmente cerradas, multiplicada por el área de la estructura. Y 0,38 kN/m<sup>2</sup> para el área vertical proyectada del techo, normal a la dirección del viento.

Para las estructuras abiertas la carga mínima es de 0,77 kN/m<sup>2</sup> multiplicada por el área  $A_f$ , donde  $A_f$  es el área proyectada normal a la dirección del viento.



Figura 21. Casos de diseño de carga de viento



- Caso 1.** Diseño completo con presiones de viento actuando sobre el área proyectada perpendicular a cada eje principal de la estructura, se consideran por separado a lo largo de cada eje principal.
- Caso 2.** Tres cuartos del diseño de presión de viento actuando en el área proyectada perpendicular a cada eje principal de la estructura en combinación con un momento torsional como se muestra, considerando de forma separada para cada eje principal.
- Caso 3.** Carga de viento como se define en Caso 1, pero considerando que actúan simultáneamente al 75% del valor especificado.
- Caso 4.** Carga de viento como se define en Caso 2, pero considerando que actúan simultáneamente al 75% del valor especificado.

**Notas:**

1. El diseño de presiones de viento para las caras en barlovento y sotavento deben de ser determinadas de acuerdo con las provisiones de las imágenes del apéndice que aplican para las estructuras de todas las alturas.
2. Los diagramas muestran las vistas de planta de la estructura.
3. Notación:

$P_{WX}, P_{WY}$  : Diseño de cara en barlovento con presión actuando en el eje principal x, y, respectivamente.  
 $P_{LX}, P_{LY}$  : Diseño de cara en sotavento actuando el eje principal x, y, respectivamente.  
 $e(x, e_y)$  : Excentricidad para los ejes principales x, y de la estructura, respectivamente  
 $M_T$  : Momento torsional por unidad de altura actuando sobre el eje vertical de la estructura.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 271.*

## **4. DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES POR EL MÉTODO DE LA ENVOLVENTE**

El método de la envolvente provee un procedimiento distinto para el análisis de las cargas de viento sobre una estructura. Requiere de ciertas características para ser aplicada. Este método es aplicable en estructuras de baja altura cerradas y parcialmente cerradas con techos a un agua, dos aguas y cuatro aguas.

Al igual que el método direccional, el método de la envolvente se debe utilizar para analizar Sistemas principales de resistencia de fuerza de viento o estructuras de diafragma simple.

Estructura de baja altura

Según el ASCE 7-10 una estructura de baja altura es aquella que cumple con las siguientes condiciones:

1. La altura media del techo,  $h$ , debe ser menor o igual a 18 m.
2. La altura media del techo,  $h$ , no debe de exceder la dimensión horizontal menor (ancho o largo).

### **4.1. Limitaciones geométricas y condiciones de sitio**

Para aplicar el método de la envolvente es necesario cumplir con las siguientes condiciones:

- Sistema principal de resistencia de fuerza de viento
  1. Debe de ser una estructura con una forma regular.
  2. La estructura en análisis no debe tener características de respuesta que lo conviertan en una estructura que recibe carga de viento transversal, formación de vórtices, incremento de la vibración con el aumento de la velocidad del viento o que la estructura se localice en un sitio donde pueda estar bajo efectos de canal que produzcan consideraciones especiales para realizar su análisis.
  3. Las estructuras deben de ser menores a 18,3 m.
  
- Estructura de diafragma simple
  1. Ser una estructura de diafragma simple según especificado por el IBC en la sección 1609.2.
  2. Ser una estructura de baja altura.
  3. La estructura es cerrada.
  4. La estructura posee una forma regular.
  5. La estructura no es clasificada como una estructura flexible.
  6. La estructura en análisis no debe tener características de respuesta que lo conviertan en una estructura que recibe carga de viento transversal, formación de vórtices, incremento de la vibración con el aumento de la velocidad del viento o que la estructura se localice en un sitio en el cual pueda estar bajo efectos de canal que produzcan consideraciones especiales para realizar su análisis.
  7. La estructura tiene una sección transversal aproximadamente simétrica en cada dirección con techo plano o un techo a dos aguas.
  8. La estructura es exenta de casos de carga de torsión.

## **4.2. Variables de diseño**

- Sistema principal de resistencia de fuerza de viento
  1. Velocidad de viento, basado en AGIES
  2. Factor de dirección del viento,  $K_d$
  3. Categoría de exposición, B, C o D
  4. Factor topográfico,  $K_{zt}$
  5. Clasificación de cerramiento
  6. Coeficiente de presión interna, ( $GC_{pi}$ )
  7. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  o  $K_h$
  8. Presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$
  9. Coeficiente de presión externa, ( $GC_p$ )
  10. Presión de viento,  $p$

Los valores de la velocidad de viento, el factor de dirección, categoría de exposición, factor topográfico, clasificación de cerramiento y el coeficiente de presión interna deben ser calculados de igual manera que en el capítulo dos y el capítulo tres.

### **4.2.1. Coeficiente de presión de velocidad**

El coeficiente de velocidad de exposición debe ser obtenido por medio de la tabla VI.

Tabla VI. **Coefficientes de presión de velocidad**

Altura sobre el nivel del suelo, z		Exposición		
		B	C	D
m	ft			
0-15	0-4,6	0,70	0,85	1,03
20	6,1	0,70	0,90	1,08
25	7,6	0,70	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	0,85	1,13	1,31

**Notas:**

1. La interpolación lineal es permitida para valores intermedios de la altura z.
2. Las categorías de exposición están definidas en el capítulo 2.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 299.

**4.2.2. Presión de velocidad**

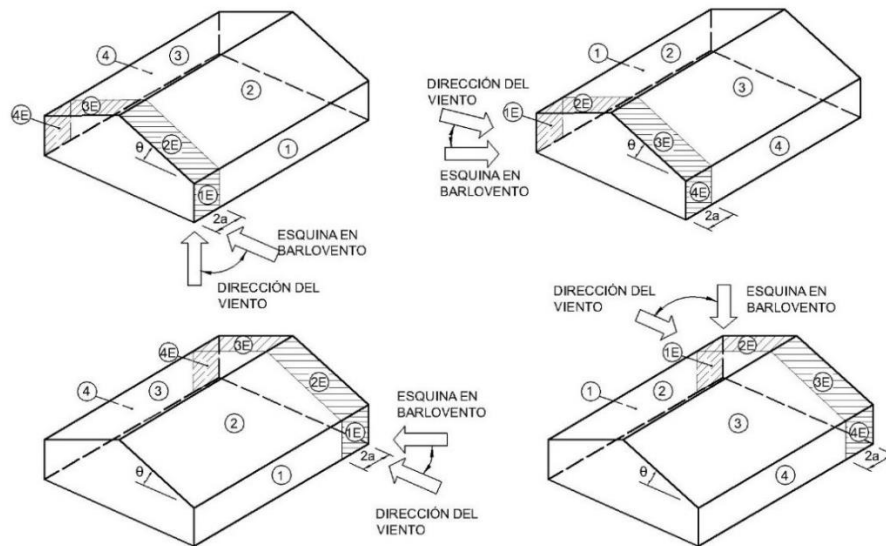
La presión de velocidad se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$q_{z,h} = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (4.1)$$

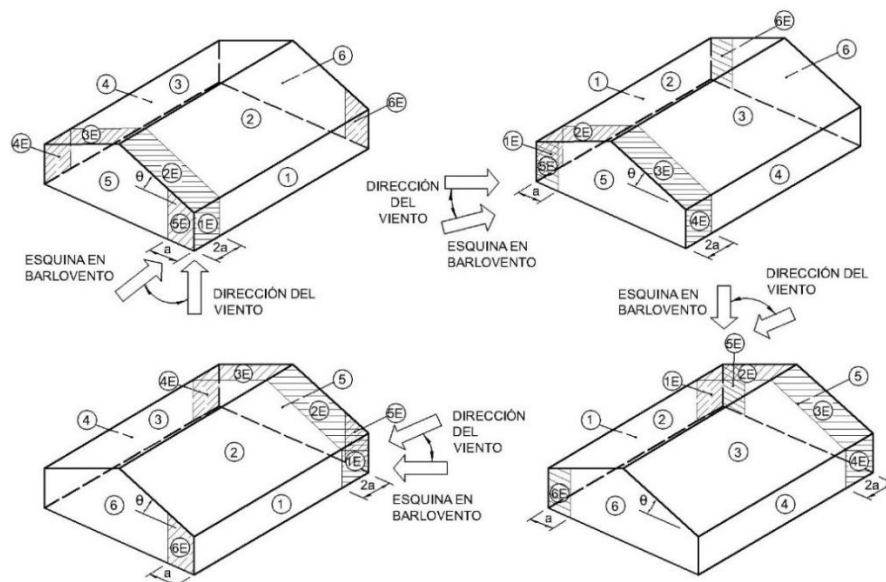
**4.2.3. Coeficiente de presión externa**

El coeficiente de presión externa se obtiene de la combinación de las zonas de la figura 22 y los coeficientes de la figura 23.

Figura 22. **Zonificación de presiones externas para  $h \leq 18,3$  m en estructuras cerradas y parcialmente cerradas**



**CASO DE CARGA A**



**CASO DE CARGA B**

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 300.

Figura 23. **Coefficiente de presión externa ( $GC_{pf}$ ) para  $h \leq 18,3$  en estructuras cerradas y parcialmente cerradas**

Ángulo del techo, $\theta$	CASO DE CARGA A							
	Superficies de la estructura							
	1	2	3	4	1E	2E	3E	4E
0-5	0.4	-0.69	-0.37	-0.29	0.61	-1.07	-0.53	-0.43
20	0.53	-0.69	-0.48	-0.43	0.8	-1.07	-0.69	-0.64
30-45	0.56	0.21	-0.43	-0.37	0.69	0.27	-0.53	-0.48
90	0.56	0.56	-0.37	-0.37	0.69	0.69	-0.48	-0.48

Ángulo del techo, $\theta$	CASO DE CARGA B											
	Superficies de la estructura											
	1	2	3	4	5	6	1E	2E	3E	4E	5E	6E
0-90	-0.45	-0.69	-0.37	-0.45	0.4	-0.29	-0.48	-1.07	-0.53	-0.48	0.61	-0.43

**Notas:**

1. Los valores positivos y negativos indican las presiones que actúan hacia y fuera de la superficie, respectivamente.
2. Para valores de  $\theta$  diferentes a los mostrados, la interpolación lineal es permitida.
3. La estructura debe de ser diseñada para todas las direcciones del viento mostradas en la figura 14. Los patrones de carga son aplicados a cada esquina de la estructura como la esquina en barlovento.
4. Las combinaciones de las presiones internas y externas deben de ser evaluadas para obtener la carga mas severa.
5. Para los casos de carga torsional mostrados en la figura 15, las presiones en zonas designadas con una "T" (1T, 2T, 3T, 4T, 5T, 6T) debe de ser el 25% de las presiones de viento de diseño totales (zona 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Excepción: Las estructuras de un nivel con  $h$  menor o igual a 9.1m, estructuras de dos niveles o menores enmarcadas con marcos livianos de construcción, y estructuras de dos niveles o menores diseñadas con diagramas flexibles, no necesitan ser diseñadas por los casos de carga torsional.

La carga de torsión debe ser aplicada a los ocho patrones de carga básica usando la figura 14.

6. Con el propósito de diseñar el Sistema Principal de Resistencia de Fuerza de Viento, el cortante horizontal total no debe de ser menor que el determinado por dejar a un lado las fuerzas de viento en el techo.

**Excepción:** Esta provisión no aplica para estructuras usando marcos de momentos para el Sistema Principal de Resistencia de Fuerza de Viento.

7. Para muros planos, usar  $\theta = 0^\circ$  y localizar la frontera de las zonas 2/3 y las zonas 2E/3E a la mitad del ancho de la estructura.
8. El coeficiente de presión del techo ( $GC_{pf}$ ), cuando es negativo en la zona 2 y 2E, debe de ser aplicado en la zona 2/2E por una distancia desde el borde del techo igual a 0.5 veces la dimensión horizontal de la estructura paralela a la dirección del Sistema Principal de Resistencia de Fuerza de Viento en diseño o 2.5 veces la altura del alero en el muro en barlovento, la que sea menor; el resto de la zona 2/2E que se extiende a la línea central de la cresta, debera utilizar el coeficiente de presión ( $GC_{pf}$ ) para las zonas 3/3E.

9. Notación:

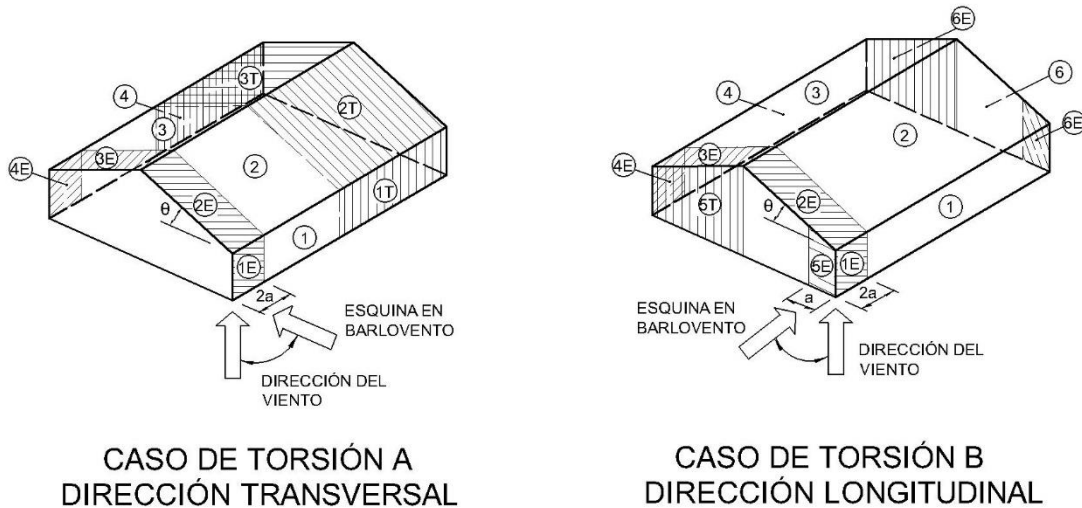
a: 10 por ciento de la menor dimensión horizontal o  $0.4h$ , la que sea menor, pero no menos que el 4% de la menor dimensión horizontal o 0.9 m.

h: Altura media del techo, en metros, excepto que la altura del alero se utilizara para ángulos  $\theta$  menores a  $10^\circ$ .

$\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 301.*

Figura 24. Diagrama de cargas de torsión en estructuras de baja altura



Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 300.

#### 4.2.4. Presión de viento

La presión de viento sobre las diferentes zonas de la estructura se calcula utilizando la ecuación 4.2.

$$p = q_h [(GC_{pf}) - (GC_{pi})] \quad (\text{N/m}^2) \quad (4.2)$$

$q_h$  Presión de velocidad evaluada a la altura media del techo,  $h$

$(GC_{pf})$  Coeficiente de presión externa

$(GC_{pi})$  Coeficiente de presión interna

El cálculo de la presión de viento del método del a envolvente es similar al cálculo de la presión de viento por el método dirección. En el caso del método



de la envolvente, los coeficientes de presión interna y externa están multiplicados por el factor de ráfaga.

Al igual que en el método direccional, el método de la envolvente posee formas específicas de diseñar elementos específicos de la estructura, como los parapetos y las salientes del techo.

- Parapetos

Los parapetos deben ser diseñados con una carga de viento calculada por la siguiente ecuación:

$$p_p = q_p(GC_{pn}) \quad (\text{N/m}^2) \quad (4.3)$$

Donde

$p_p$  Combinación de presiones netas en el parapeto debidas a la combinación de las presiones netas de la superficie frontal y trasera del parapeto.

$q_p$  Presión de velocidad evaluada a la altura más alta del parapeto.

$(GC_{pn})$  Coeficiente de combinación de presiones netas, con valores +1,5 para parapeto en barlovento y  $-1,0$  para parapeto en sotavento.

- Salientes del techo

La presión externa positiva en la superficie inferior de la saliente del techo en barlovento debe de ser determinada usando  $C_p = 0.8$  en combinación con las presiones de la superficie superior determinadas con la metodología previamente descrita.

#### **4.2.5. Carga de viento mínima para diseñar**

La carga mínima que se utilizará para diseñar el Sistema principal de fuerza de viento para una estructura cerrada o parcialmente cerrada no debe ser menor a  $0,77 \text{ kN/m}^2$  multiplicada por el área del muro de la estructura y  $0,38 \text{ kN/m}^2$  multiplicada por el área del techo proyectada en un plano vertical normal a la dirección del viento asumida.

#### **4.3. Zonificación de presiones**

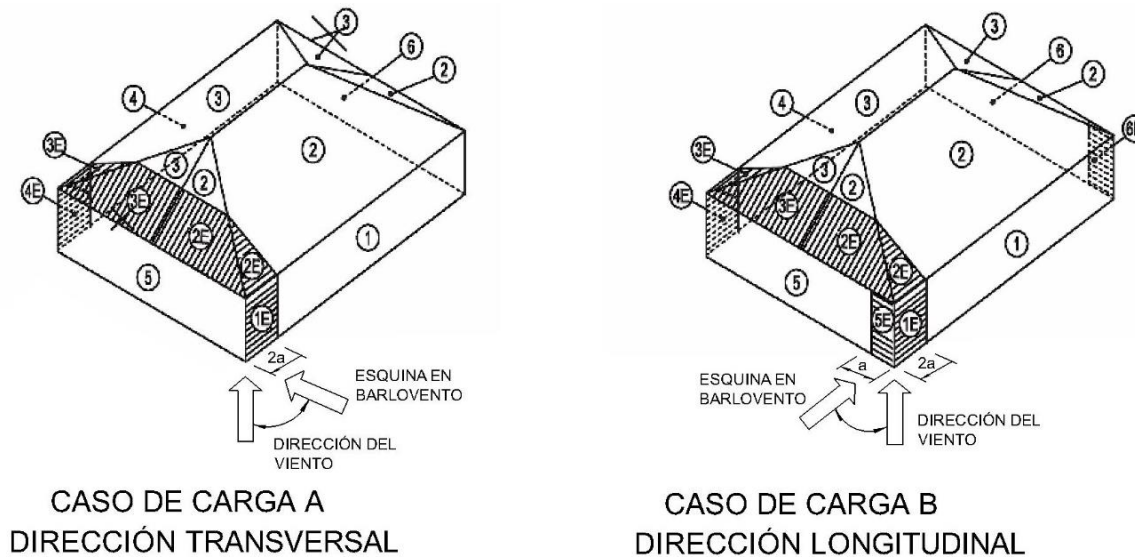
Las presiones sobre las estructuras de baja altura se definen según la forma del techo. A pesar de que la zonificación de presiones está representada por un techo a dos aguas (como se muestra en la figura 22), la zonificación aplica para techos a un agua y dos aguas.

En el caso del techo a cuatro aguas, la zonificación de la figura 22 puede ser utilizada, aunque el ASCE 7-10 propone otro tipo de zonificación basado en la experiencia, intuición y juicio, según lo describen en los comentarios de la norma. La distribución se presenta en la figura 24.

La numeración de las zonas se refiere a las mismas cargas de viento utilizadas por la figura 22, o sea, lo único que cambia es la distribución, pero los valores son los mismos.

Para zonificación de presiones para estructuras con techos a cuatro aguas, el ASCE propone la figura 25 basada en intuición y experiencia de los ingenieros y laboratoristas.

Figura 25. **Distribución de presiones sobre techo a cuatro aguas**



Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 559.*

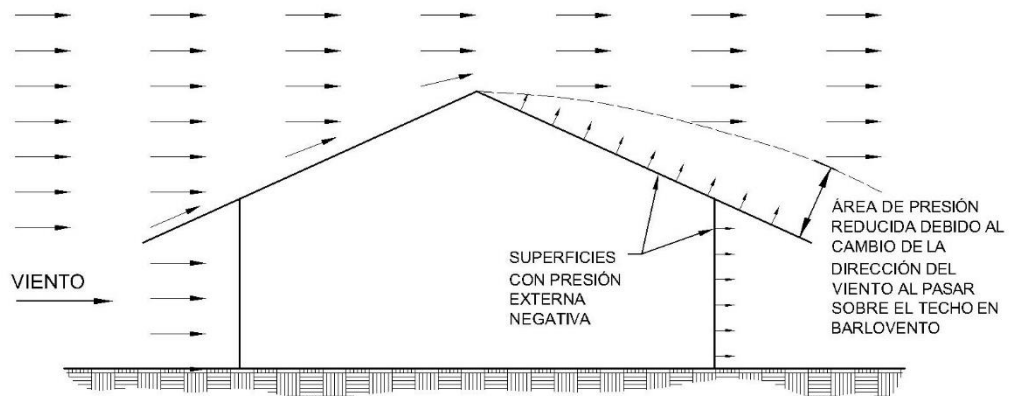
#### 4.4. Análisis de presiones sobre techos

La variación de las presiones con respecto al ángulo del techo se basa en la variación de los coeficientes de presión externa, según se establece en la tabla V. Como lo establece la teoría, la presión de un fluido se distribuye constantemente sobre las superficies del elemento que la contiene, ejerciendo una fuerza perpendicular a cada una sin importar su forma. Con base en la teoría, se asevera que la presión interna se distribuye de igual forma y valor sin importar el ángulo del techo de la estructura. Sin embargo, la presión externa varía en a la velocidad que a su vez varía como consecuencia la reducción del área de flujo. Esto se debe al área ocupada por la estructura y produce una presión negativa.

El ASCE 7-10 establece zonas con un número más la letra E en las zonas con mayor coeficiente de presión externa. Se debe a que es el área donde el viento impacta contra la estructura y cambia la dirección de su flujo. Según se observa en la zona 2E para el caso A, las presiones cambian de ser negativas a positivas debido a que el techo con mayor ángulo produce un cambio del viento más brusco, produce presiones positivas mayores por el impacto que presiones negativas, por el aumento de la velocidad del viento, por la reducción del área de flujo.

El área 3E presenta todos sus coeficientes de presión externa negativos porque el área está en el lado contrario al área que recibe presión positiva, es decir, está en sotavento. El área en sotavento posee succión por el vacío que se generó cuando la estructura desvió el flujo del viento y este desea regresar al flujo original, como se muestra en la figura 26.

Figura 26. **Presiones negativas en sotavento**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.



## **5. DISEÑO PARA REVESTIMIENTOS Y SUS COMPONENTES**

En el capítulo 2 se describen dos tipos de análisis de viento. El primero es para Sistemas principales de resistencia de fuerza de viento y el segundo es para los componentes y revestimiento. Este capítulo desarrolla la metodología de análisis para los revestimientos y sus componentes basado en el capítulo 30 del ASCE 7-10.

### **5.1. Metodología del análisis y sus limitantes**

El capítulo 30 del ASCE 7-10 presenta seis partes:

1. La parte 1 es aplicable para estructuras cerradas y parcialmente cerradas bajo las siguientes condiciones:
  - La estructura es de baja altura (h menor o igual a 18,3 m).
  - La estructura tiene un techo plano, a un agua, a dos aguas, a cuatro aguas, escalonado y con forma de diente de sierra.
2. La parte 2 es una aproximación simplificada y aplicable para estructuras de baja altura cerradas con techos planos, a un agua, a dos aguas y a cuatro aguas. Este tema no se desarrollará en este trabajo de graduación debido a que el cálculo se puede desarrollar con base en la parte 1 de este capítulo.
3. La parte 3 es aplicable para estructuras cerradas y parcialmente cerradas con las siguientes características:

- Estructuras con una altura media del techo mayor a 18,3 m.
  - Estructuras que poseen un techo plano, a un agua, a dos aguas, a cuatro, mansarda o francés, arqueado o abovedado.
4. La parte 4 es una aproximación simplificada y es aplicable para estructuras cerradas. La estructura debe tener una altura media del techo menor o igual a 48.8 m y un techo plano, a un agua, a dos aguas, a cuatro aguas o mansarda. Sin embargo, no se analizará en este trabajo de graduación debido a que la parte 3 de este capítulo ya posee la metodología para analizar techos con esta altura o mayores.
  5. La parte 5 es aplicable a estructuras abiertas de todas las alturas con un techo libre inclinado a dos aguas, techo libre a un agua o un techo libre de artesa.
  6. La parte 6 es aplicable a las anexidades de las estructuras como las salientes del techo, parapetos, y equipos de la azotea.

#### **5.1.1. Limitantes**

1. El edificio debe tener una forma regular.
2. La estructura en análisis no debe de tener características de respuesta que lo conviertan en una estructura que recibe carga de viento transversal, formación de vórtices, incremento de la vibración con el aumento de la velocidad del viento o que la estructura se localice en un sitio donde bajo efectos de canal que produzcan consideraciones especiales para realizar su análisis.

Las provisiones de este capítulo toman en consideración la magnificación del efecto causado por la ráfaga en resonancia con la vibración del viento de estructuras flexibles.

Este capítulo debe incluir reducciones en la presión de velocidad debido a la protección aparente provista por edificios, otras estructuras o características del terreno.

### **5.1.2. Requerimientos generales**

Los siguientes parámetros están especificados en el capítulo 2.

1. Velocidad del viento básico,  $V$
2. Factor de dirección del viento,  $K_d$
3. Categoría de exposición
4. Factor topográfico,  $K_{zt}$
5. Factor del efecto ráfaga
6. Clasificación de cerramiento
7. Coeficiente de presión interna,  $(GC_{pi})$

### **5.1.3. Presión mínima para diseño por viento**

A diferencia de los métodos utilizados para cargas de viento sobre el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento. Este método propone solamente un tipo de carga mínima de viento aplicada en dirección normal a la superficie, sin importar si es un muro o un techo. La carga mínima de viento para este capítulo es de 0,77 kN/m<sup>2</sup>.



#### **5.1.4. Área tributaria**

Elementos con áreas tributarias mayores a 65 m<sup>2</sup> se deben diseñar usando las disposiciones para Sistemas principales de resistencia de fuerza de viento.

#### **5.1.5. Área efectiva de viento, A**

El área de viento efectiva para determinar el coeficiente de presión externa en este capítulo es la longitud de tramo multiplicada por un ancho efectivo que no debe ser menor a un tercio de la longitud del tramo. Para los sujetadores del revestimiento, el área de viento efectiva no debe de ser mayor al área individual que tributa al sujetador.

### **5.2. Parte 1. Estructuras de baja altura cerradas y parcialmente cerradas**

El cálculo de las presiones de carga de viento para estructuras de baja altura, con una clasificación de cerramiento cerrada o parcialmente cerrada, se lleva a cabo por medio de los parámetros utilizados en los métodos anteriores con la diferencia del valor del coeficiente de presión externa. Los parámetros a utilizar son:

1. Velocidad básica del viento,  $V$
2. Factor de direccionalidad del viento,  $K_d$
3. Categoría de exposición, B, C o D
4. Factor topográfico,  $K_{zt}$
5. Clasificación de cerramiento
6. Coeficiente de presión interna,  $(GC_{pi})$

7. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  o  $K_h$
8. Presión de velocidad,  $q_h$
9. Coeficiente de presión externa ( $GC_p$ )
10. Presión de viento,  $p$

Los valores de  $V$ ,  $K_d$ , categoría de exposición,  $K_{zt}$ , clasificación de cerramiento y ( $GC_{pi}$ ) son obtenidos con base en lo descrito en el capítulo 2.

### 5.2.1. Coeficiente de presión de velocidad

El factor  $K_z$  o  $K_h$  es obtenido por medio de la tabla VII para las diferentes alturas y categorías de exposición.

### 5.2.2. Presión de velocidad

La presión de velocidad,  $q_h$ , se obtiene mediante la ecuación 5.1 utilizando los parámetros previamente calculados.

$$q_h = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (5.1)$$

Donde

- $K_d$  Factor de direccional del viento
- $K_z$  Coeficiente de presión de velocidad de exposición
- $K_{zt}$  Factor topográfico
- $V$  Velocidad básica del viento
- $q_h$  Velocidad de presión del viento calculada a la altura  $h$

Tabla VII. **Coefficientes de presión de velocidad para componentes y revestimiento**

Altura sobre el nivel del suelo, Z		Exposición		
		B	C	D
ft	(m)			
0-15	0-4,6	0,70	0,85	1,03
20	6,1	0,70	0,90	1,08
25	7,6	0,70	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	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

Nota:

1. La interpolación lineal es permitida para los valores intermedios de z.
2. Las categorías de exposición están descritas en el capítulo 2.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 317.

### 5.2.3. Coeficiente de presión externa

El coeficiente de presión externa debe obtenerse mediante las figuras 15, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 y 36, según sea la localización de la superficie en análisis. Este factor se obtiene mediante el área efectiva de viento y la zona en que se encuentra el elemento. Los criterios para la obtención del área efectiva de viento del elemento que se analiza están descritos en el inciso 5.8.

### 5.2.4. Presiones de viento para diseño

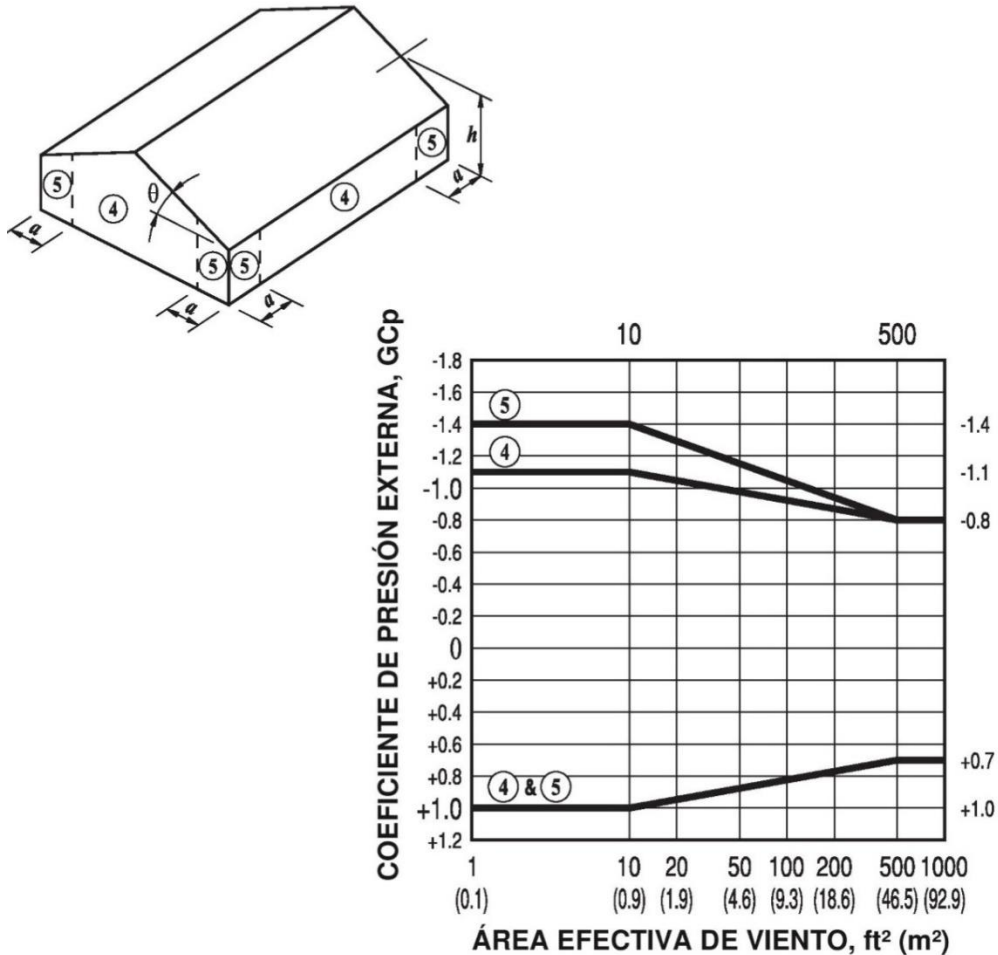
Las presiones de viento de diseño de revestimiento y sus componentes deben calcularse con base en la ecuación 5.2.

$$p = q_h [(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (\text{N/m}^2) \quad (5.2)$$

Donde

- $q_h$  Presión de velocidad evaluada a la altura  $h$
- $(GC_p)$  Coeficiente de presión externa
- $(GC_{pi})$  Coeficiente de presión interna

Figura 27. Coeficiente de presión externa para muros,  $h \leq 18,30$  m

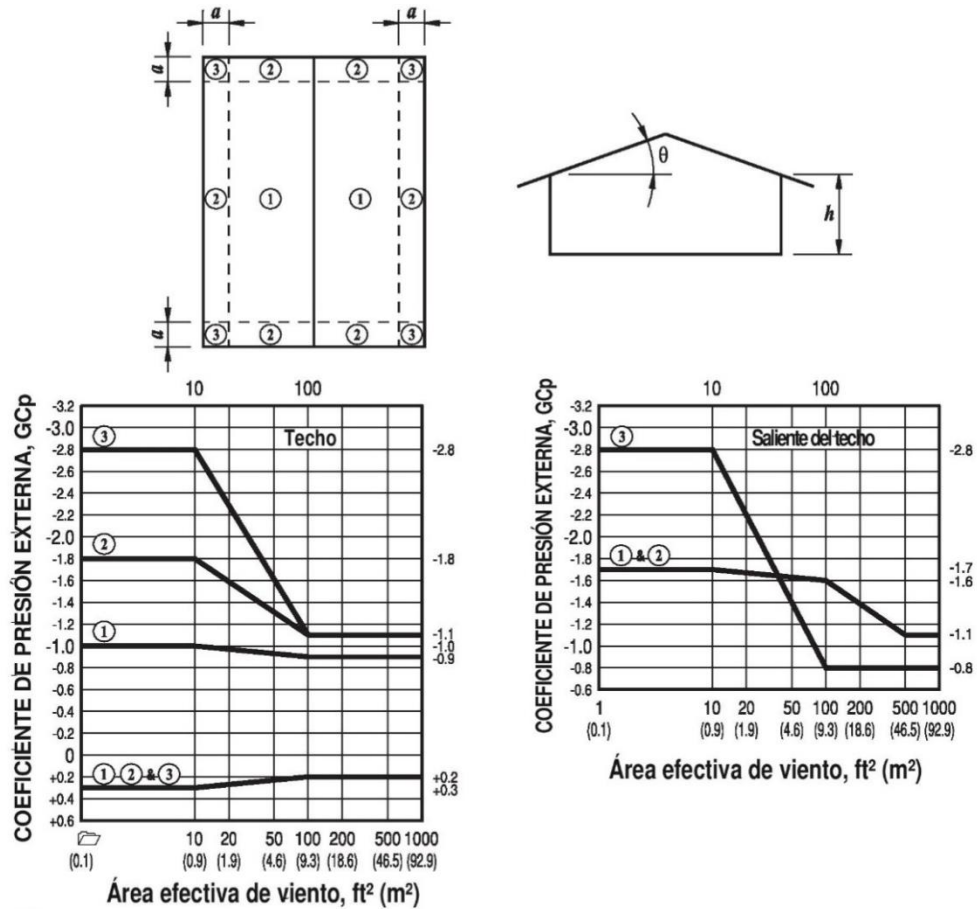


**Notas:**

1. La escala vertical denota  $GC_p$  para ser utilizados con  $q_n$ .
2. La escala horizontal denota el área efectiva de viento, en pies cuadrados (metros cuadrados).
3. Valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
4. Cada componente debe de ser diseñado para la máxima presión positiva y negativa.
5. Los valores de  $GC_p$  para muros deben de ser reducidos un 10% cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .
6. Notación:  
 $a$ : 10 por ciento de la dimension horizontal menor o  $0.4h$ , la que sea menor, 4% de la dimension horizontal menor o 0.9 m.  
 $h$ : Altura media del techo, (metros), excepto que se utilizara la altura del alero cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .  
 $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures* 2010. p. 335.

Figura 28. **Coefficiente de presión externa para techos de dos aguas con  $\theta < 7^\circ$  y  $h \leq 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**

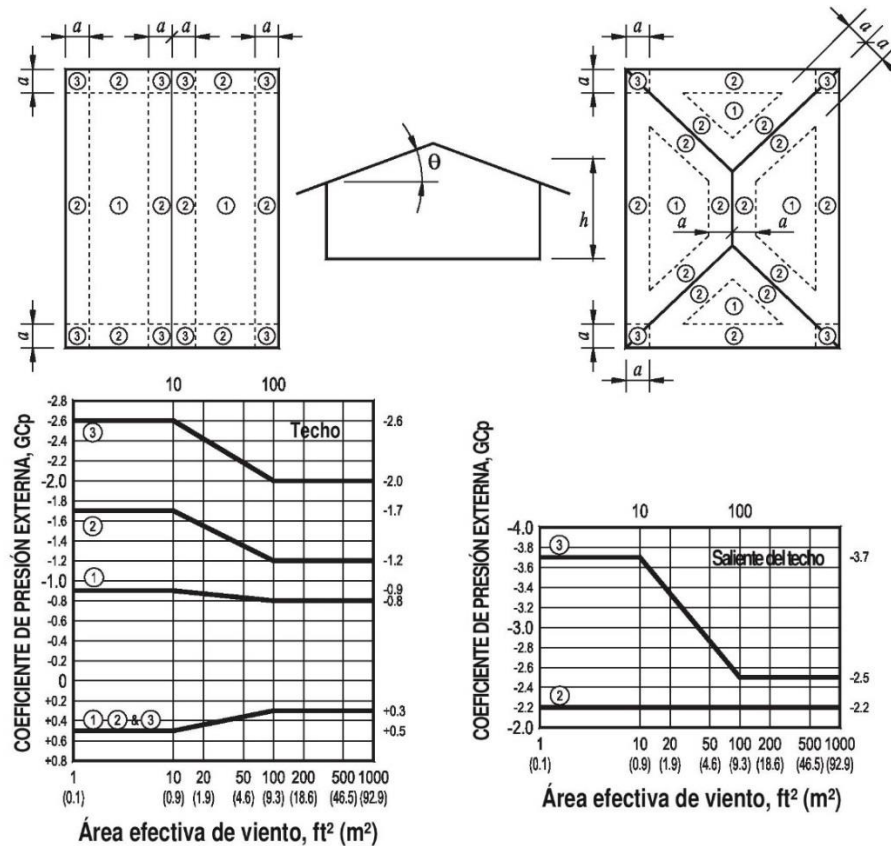


**Notas:**

1. La escala vertical denota  $G_{Cp}$  para ser utilizados con  $q_h$ .
2. La escala horizontal denota el área efectiva de viento, en pies cuadrados (metros cuadrados).
3. Valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
4. Cada componente debe de ser diseñado para la máxima presión positiva y negativa.
5. Cuando un parapeto al rededor del perímetro del techo con  $\theta \leq 7^\circ$  es igual o más alto que 0.9 m, los valores negativos de  $G_{Cp}$  en la zona 3 debe ser igual a los de la zona 2 y los valores positivos de  $G_{Cp}$  en las zonas 2 y 3 iguales a los de la zona 4 y 5, respectivamente en la figura 27.
6. Los valores de  $G_{Cp}$  para las salientes del techo incluye las presiones actuando debajo y arriba de la superficie.
7. Notación:  
 a: 10 por ciento de la dimension horizontal menor o 0.4h, la que sea menor, 4% de la dimension horizontal menor o 0.9 m.  
 h: Altura media del techo, (metros), excepto que se utilizara la altura del alero cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .  
 $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 336.

Figura 29. **Coeficiente de presión externa para techos de dos aguas y cuatro aguas con  $7^\circ < \theta \leq 27^\circ$  y  $h \leq 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**

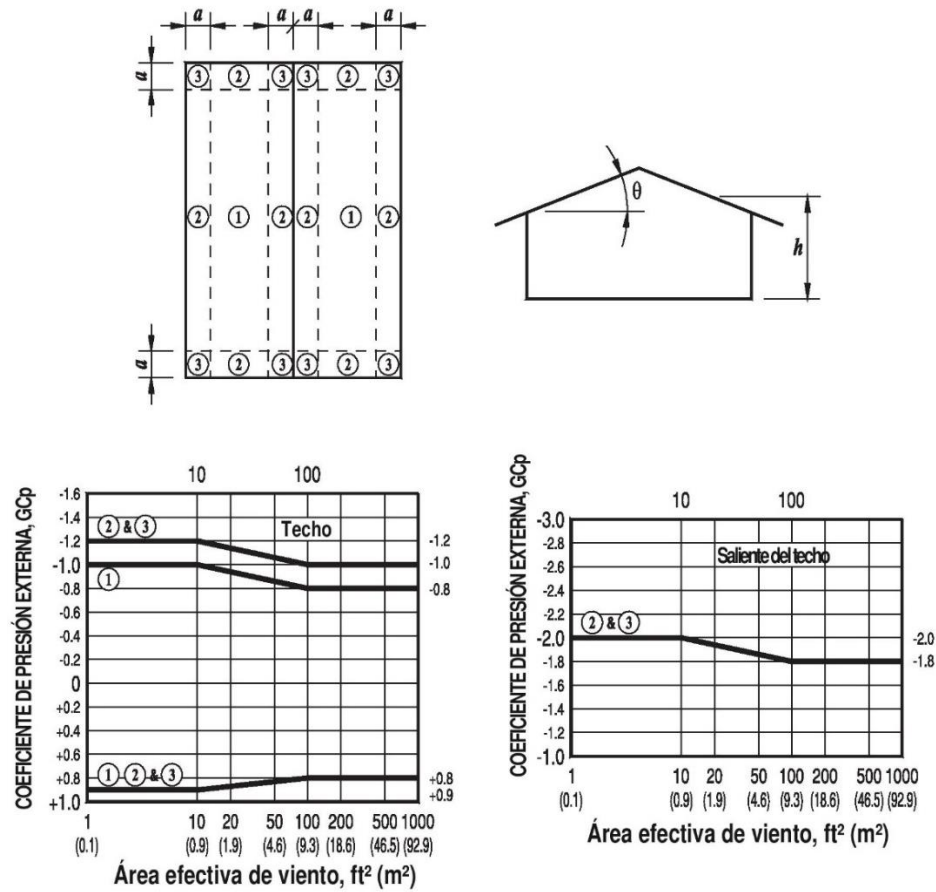


**Notas:**

1. La escala vertical denota GCP para ser utilizados con  $q_h$ .
2. La escala horizontal denota el área efectiva de viento, en pies cuadrados (metros cuadrados).
3. Valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
4. Cada componente debe de ser diseñado para la máxima presión positiva y negativa.
5. Los valores de GCP para las salientes del techo incluye las presiones actuando debajo y arriba de la superficie.
6. Para techos a cuatro aguas con  $7^\circ < \theta \leq 27^\circ$ , las franjas de borde/cumbrera y los coeficientes de presión en cumbreras de techos a dos aguas debe de ser aplicado para cada cadena
7. Para techos a cuatro aguas con  $\theta \leq 25^\circ$ , Zona 3 debe ser tratada como Zona 2.
8. Notación:  
 a: 10 por ciento de la dimension horizontal menor o  $0.4h$ , la que sea menor, 4% de la dimensión horizontal menor o 0.9 m.  
 h: Altura media del techo, (metros), excepto que se utilizara la altura del alero cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .  
 $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures* 2010. p. 337.

Figura 30. **Coeficiente de presión externa para techos de dos aguas y cuatro aguas con  $27^\circ < \theta \leq 45^\circ$  y  $h \leq 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**



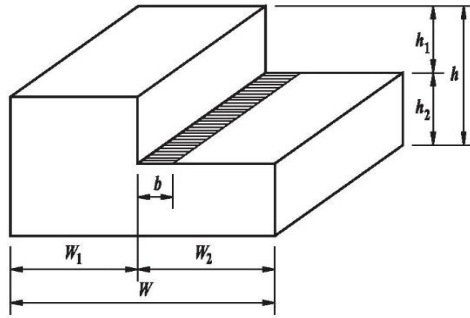
**Notas:**

1. La escala vertical denota  $G_{cp}$  para ser utilizados con  $q_h$ .
2. La escala horizontal denota el área efectiva de viento, en pies cuadrados (metros cuadrados).
3. Valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
4. Cada componente debe de ser diseñado para la máxima presión positiva y negativa.
5. Los valores de  $G_{cp}$  para las salientes del techo incluye las presiones actuando debajo y arriba de la superficie.
6. Notación:  
 a: 10 por ciento de la dimensión horizontal menor o  $0.4h$ , la que sea menor, 4% de la dimensión horizontal menor o 0,9 m.  
 h: Altura media del techo, (metros), excepto que se utilizara la altura del alero cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .  
 $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 338.



Figura 31. **Coeficiente de presión externa para techos escalonados con  $h \leq 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**



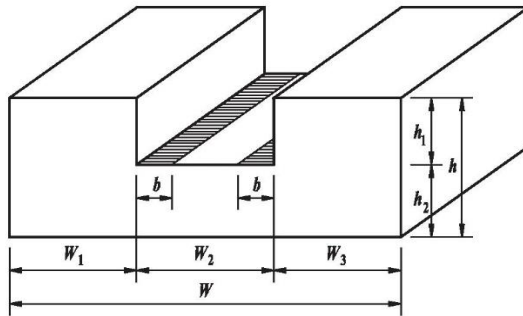
$$h_1 \geq 10 \text{ ft. (3 m)}$$

$$b = 1.5 h_1$$

$$b < 100 \text{ ft. (30.5 m)}$$

$$\frac{h_i}{h} = 0.3 \text{ to } 0.7$$

$$\frac{W_i}{W} = 0.25 \text{ to } 0.75$$

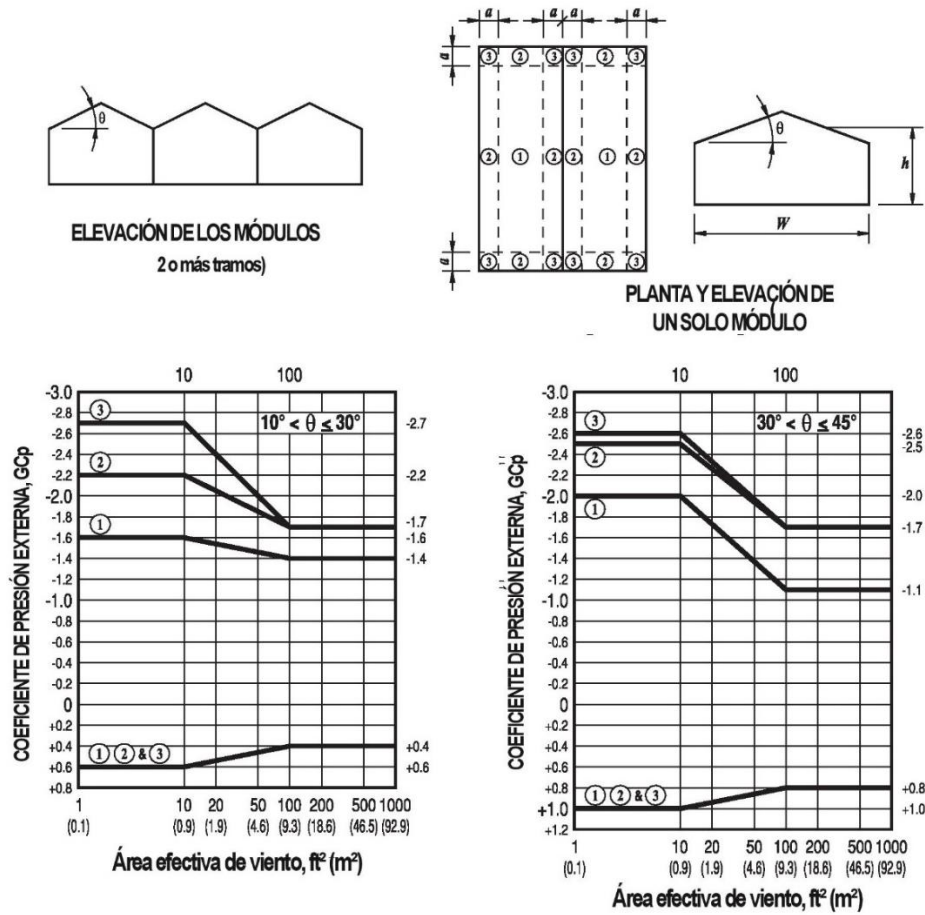


**Notas:**

- En el nivel inferior del techo escalonado mostrado, las zonas y los coeficientes de presión en la figura 28 deben aplicarse, excepto que en la intersección(es) de la pared superior del techo, la Zona 3 debe de ser tratada como Zona 2 y la Zona 2 debe de ser tratada como zona 1. Los valores positivos de  $G_{Cp}$  iguales a los de los muros de la figura 19 deben de ser aplicados en las áreas sombreadas como se muestra en esta figura.
- Notación:
  - $b$ :  $1.5h_1$  en la figura 21, pero no mayor a 100 ft (30.5 m).
  - $h$ : Altura media del techo, en metros.
  - $h_i$ :  $h_1$  o  $h_2$  en la figura 21;  $h = h_1 + h_2$ ;  $h_1 \geq 3.1$  m;  $h_i/h = 0.3$  a  $0.7$ .
  - $W$ : Ancho de la estructura.
  - $W_i$ :  $W_1$  o  $W_2$  o  $W_3$ .  $W = W_1 + W_2$  o  $W_1 + W_2 + W_3$ ;  $W_i/W = 0.25$  a  $0.75$ .
  - $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 339.*

Figura 32. **Coeficiente de presión externa para módulos continuos con techos de dos aguas y  $h \leq 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**

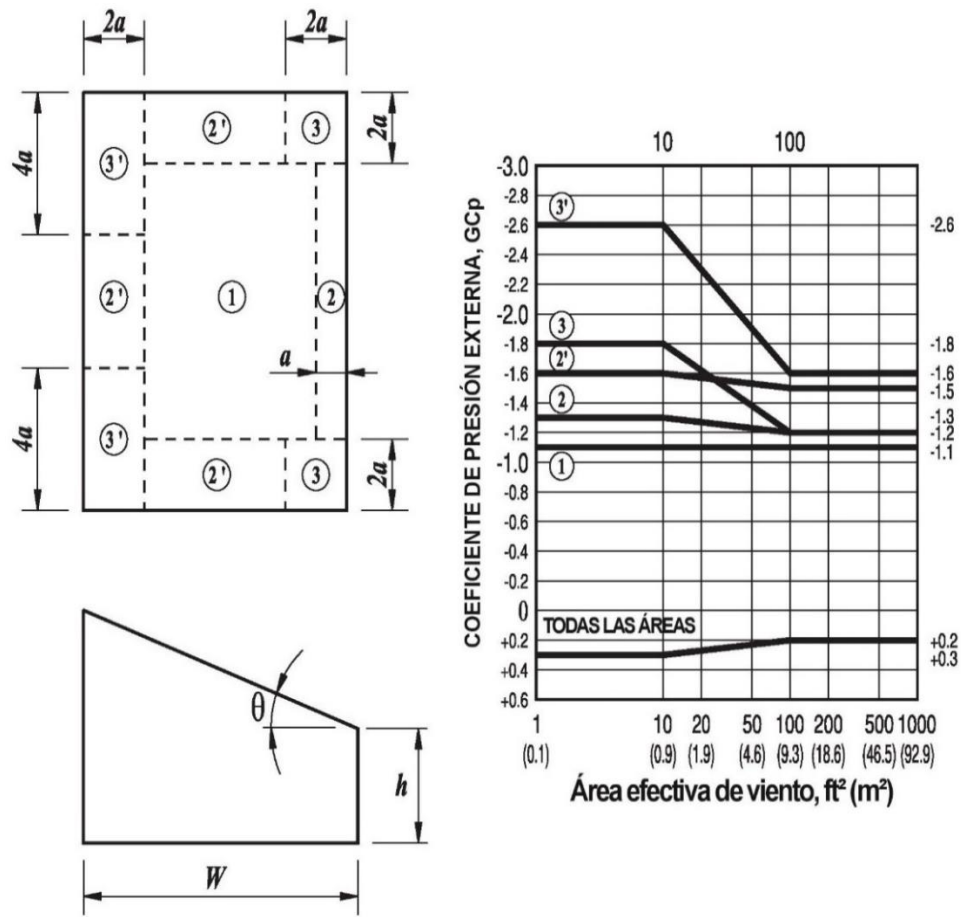


**Notas:**

1. La escala vertical denota  $G_{Cp}$  para ser utilizados con  $q_h$ .
2. La escala horizontal denota el area efectiva de viento, en pies cuadrados (metros cuadrados).
3. Valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
4. Cada componente debe de ser diseñado para la máxima presión positiva y negativa.
5. Para  $\theta \leq 10^\circ$ , los valores de  $G_{Cp}$  deben de ser tomados de la figura 28.
6. Notación:
  - a: 10 por ciento de la dimension horizontal menor o  $0.4h$ , la que sea menor, 4% de la dimension horizontal menor o 0.9 m.
  - h: Altura media del techo, (metros), excepto que se utilizara la altura del alero cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .
  - $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 340.

Figura 33. **Coefficiente de presión externa para techos de un agua con  $3^\circ < \theta \leq 10^\circ$  y  $h \leq 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**

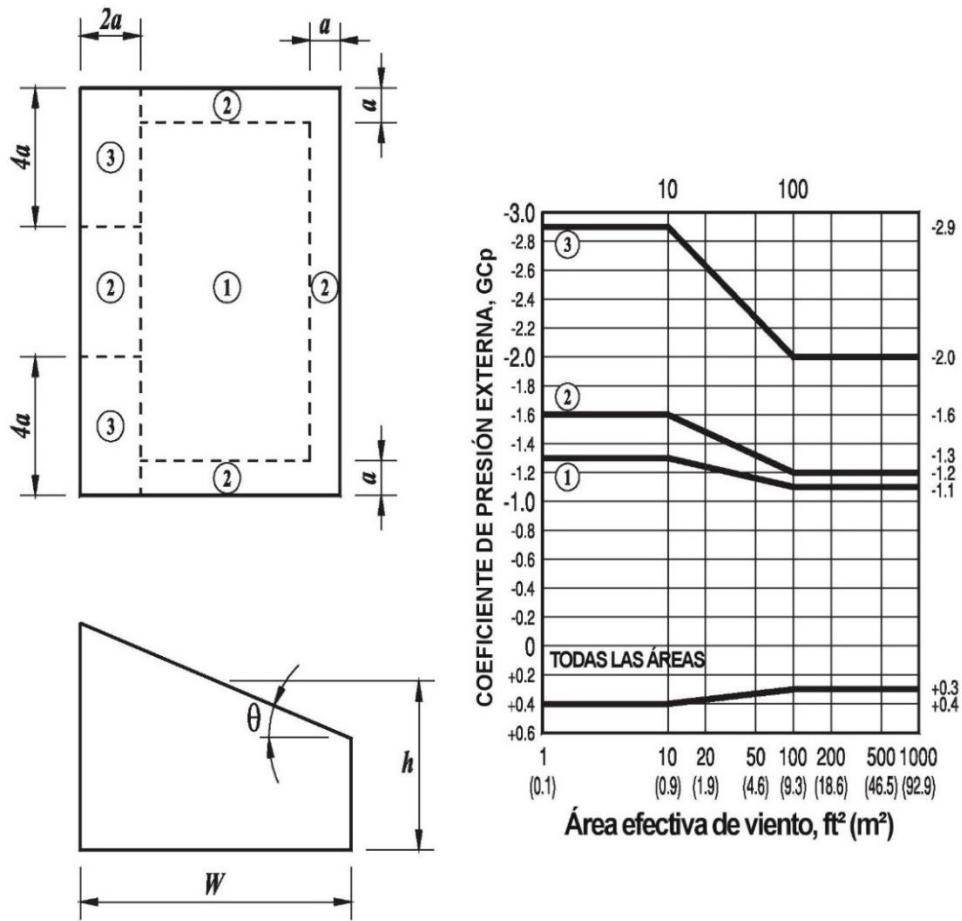


**Notas:**

1. La escala vertical denota  $G_{Cp}$  para ser utilizados con  $q_h$ .
2. La escala horizontal denota el área efectiva de viento, en pies cuadrados (metros cuadrados).
3. Valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
4. Cada componente debe de ser diseñado para la máxima presión positiva y negativa.
5. Para  $\theta \leq 3^\circ$ , los valores de  $G_{Cp}$  deben de ser tomados de la figura 28.
6. Notación:
  - a: 10 por ciento de la dimensión horizontal menor o  $0.4h$ , la que sea menor, 4% de la dimensión horizontal menor o 0.9 m.
  - h: Altura media del techo, (metros), excepto que se utilizara la altura del alero cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .
  - $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 341.

Figura 34. **Coefficiente de presión externa para techos de un agua con  $10^\circ < \theta \leq 30^\circ$  y  $h \leq 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**

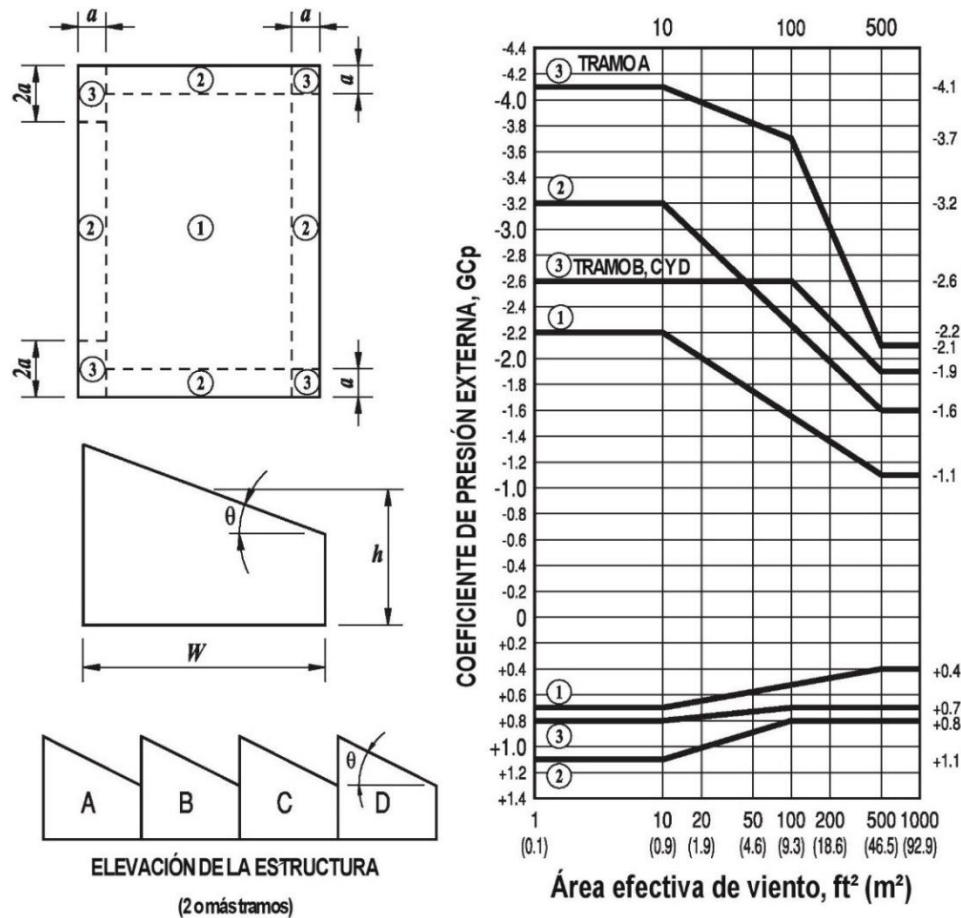


**Notas:**

1. La escala vertical denota  $GC_p$  para ser utilizados con  $q_h$ .
2. La escala horizontal denota el área efectiva de viento, en pies cuadrados (metros cuadrados).
3. Valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
4. Cada componente debe de ser diseñado para la máxima presión positiva y negativa.
5. Notación:
  - a: 10 por ciento de la dimensión horizontal menor o  $0.4h$ , la que sea menor, 4% de la dimensión horizontal menor o 0.9 m.
  - h: Altura media del techo, (metros), excepto que se utilizara la altura del alero cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .
  - $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010.* p. 342.

Figura 35. **Coefficiente de presión externa para techos en forma de cierra y  $h \leq 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**

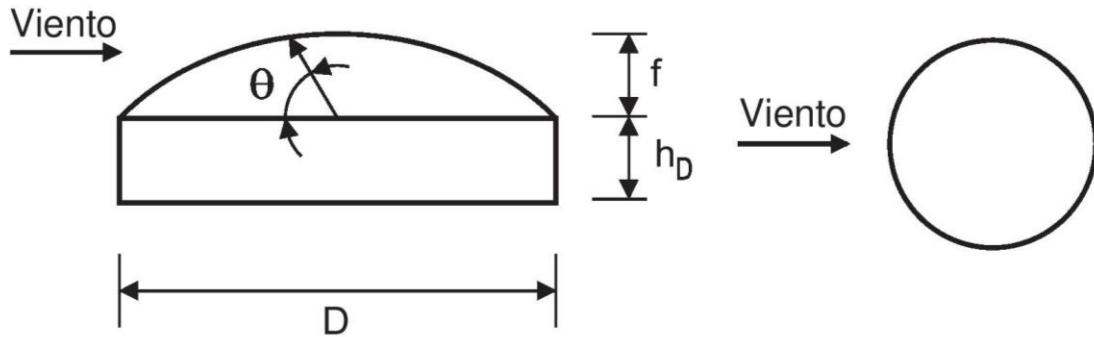


**Notas:**

1. La escala vertical denota  $GC_p$  para ser utilizados con  $q_h$ .
2. La escala horizontal denota el área efectiva de viento, en pies cuadrados (metros cuadrados).
3. Valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de las superficies, respectivamente.
4. Cada componente debe de ser diseñado para la máxima presión positiva y negativa.
5. Para  $\theta \leq 10^\circ$ , los valores de  $GC_p$  deben de ser tomados de la figura 28.
6. Notación:
  - a: 10 por ciento de la dimensión horizontal menor o  $0.4h$ , la que sea menor, 4% de la dimensión horizontal menor o 0.9 m.
  - h: Altura media del techo, (metros), excepto que se utilizara la altura del alero cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .
  - $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 343.

Figura 36. **Coefficiente de presión externa para domos con  $h \leq 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**



Coeficiente de Presión Externa para domos con base circular			
	Presiones Negativas	Presiones Positivas	Presiones Positivas
$\theta$ , grados	0 – 90	0 – 60	61 – 90
$GC_p$	-0.9	+0.9	+0.5

**Notas:**

1. Los valores de  $GC_p$  deben de ser usados con  $q_{(h_D+f)}$  donde  $h_D + f$  es la altura a la parte superior del domo.
2. Los valores positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de la superficie, respectivamente.
3. Cada componente debe de ser diseñado para las máximas presiones positivas y negativas.
4. Los valores aplican para  $0 \leq h_D/D \leq 0.5$ ,  $0.2 \leq f/D \leq 0.5$ .
5.  $\theta = 0$  grados en la horizontal de la base del arco del domo,  $\theta = 90$  al centro de la parte superior del domo.  $f$  es la medida de la altura de la base del techo a la parte superior.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 344.*

### **5.3. Estructuras cerradas y parcialmente cerradas de alta y media altura**

La parte tres, utilizada para analizar estructuras con una altura media del techo mayor a 18,30 m, se basa en los mismos parámetros que la parte uno con la diferencia de los valores del coeficiente de presión externa.

Los parámetros que intervienen en el cálculo de la carga de viento de los componentes y el revestimiento en estructuras de media y alta altura son:

1. Velocidad básica del viento,  $V$
2. Factor direccional del viento,  $K_d$
3. Categoría de exposición, B, C o D
4. Factor topográfico,  $K_{zt}$
5. Clasificación de cerramiento
6. Coeficiente de presión interna,  $(GC_{pi})$
7. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  o  $K_h$
8. Presión de velocidad,  $q_h$
9. Coeficiente de presión externa,  $(GC_p)$
10. Presión de viento,  $p$

Los valores de  $V$ ,  $K_d$ , categoría de exposición,  $K_{zt}$ , clasificación de cerramiento y  $(GC_{pi})$  se obtienen con base en lo descrito en el capítulo 2.

#### **5.3.1. Coeficiente de presión de velocidad**

El factor  $K_z$  o  $K_h$  es obtenido por medio de la tabla VII para las diferentes alturas y categorías de exposición.

### 5.3.2. Presión de velocidad

La presión de velocidad,  $q_h$  se obtiene mediante la ecuación 5.3, utilizando los parámetros previamente calculados.

$$q_{z,h} = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (5.3)$$

Donde

$K_d$  Factor de direccional del viento

$K_z$  Coeficiente de presión de velocidad de exposición

$K_{zt}$  Factor topográfico

$V$  Velocidad básica del viento

$q_h$  Presión de velocidad del viento calculada a la altura  $h$

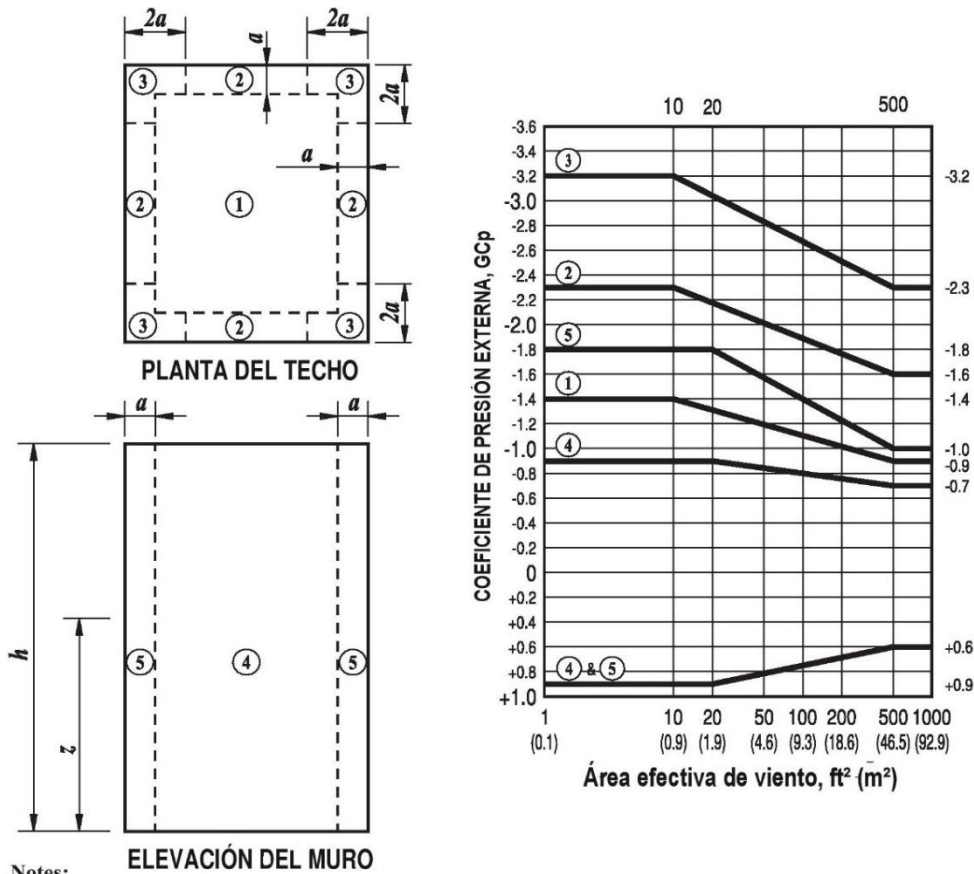
El coeficiente 0,613 debe de ser usado excepto cuando existe información climática suficiente para justificar la selección de un valor diferente.

### 5.3.3. Coeficiente de presión externa

El coeficiente de presión externa debe obtenerse mediante la figura 37 para muros y techos planos, figuras 28, 29 y 30 (aplicando la nota 6 que aparece en la parte inferior de la figura 37) para techos a dos y cuatro aguas, y figura 15 para techos arqueados, según sea la localización de la superficie en análisis. El factor se obtiene mediante el área efectiva de viento y la zona en que se encuentra el elemento. Los criterios para la obtención del área efectiva de viento del elemento que se analiza están descritos en el inciso 5.8.



Figura 37. **Coefficiente de presión externa para muros y techos con  $h > 18,30$  m, en estructuras cerradas o parcialmente cerradas**



**Notes:**

1. Los valores de la escala vertical denotan los valores de  $G_{Cp}$  para ser usados con la  $q_z$  o  $q_h$  apropiada.
2. La escala horizontal denota el área efectiva del viento  $A$ , en metros cuadrados.
3. Los signos positivos y negativos representan las presiones actuando hacia y fuera de la superficie, respectivamente.
4. Usar  $q_z$  con valores positivos de  $G_{Cp}$  y  $q_h$  con valores negativos de  $G_{Cp}$ .
5. Cada componente debe ser diseñado con las presiones máximas positivas y negativas.
6. Los coeficientes son para techos con  $\theta \leq 10^\circ$ . Para otros ángulos y geometrías, usar  $G_{Cp}$  de la figura 28, 29, 30 y operando  $q_h$  basado en la exposición.
7. Si un parapeto con altura de 0.9 m o más es provisto al rededor del perímetro del techo con  $\theta \leq 10^\circ$ , la Zona 3 debe de ser tratada como Zona 2.
8. Notación:
  - $a$ : 10 por ciento de la menor dimensión horizontal, pero no menos de 0.9 m.
  - $h$ : Altura media del techo, en metros, excepto en el caso en el que se use la altura del alero cuando  $\theta \leq 10^\circ$ .
  - $z$ : altura sobre el nivel del suelo, en metros.
  - $\theta$ : Ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal.

Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 348.

#### 5.3.4. Presiones de viento para diseño

Las presiones de viento de diseño de revestimiento y sus componentes deben calcularse con base en la ecuación 5.2.

$$p = q(GC_p) - q_i(GC_{pi}) \quad (\text{N/m}^2) \quad (5.4)$$

Donde

$q$  Igual a  $q_z$  para muros en barlovento calculados a una altura  $z$  desde el nivel del suelo

$q$  Igual a  $q_h$  para los muros en sotavento, muros laterales y muros evaluados a una altura  $h$

$q_i$  Igual a  $q_h$  para muros en barlovento, muros laterales, muros en sotavento, y techos de estructuras cerradas y para presión interna negativa en estructuras parcialmente cerradas

$q_i$  Igual a  $q_z$  para presiones internas positivas evaluadas en estructuras parcialmente cerradas, donde  $z$  es la altura definida como el nivel de la abertura más alta de la estructura que puede afectar la presión interna positiva. Para el cálculo de la presión interna positiva,  $q_i$  puede ser conservadoramente evaluada a la altura  $h$  ( $q_i = q_h$ )

$(GC_p)$  Coeficiente de presión externa

$(GC_{pi})$  Coeficiente de presión interna

#### 5.4. Estructuras abiertas

La parte 5 incluye el diseño de componentes y revestimiento para edificios de todas las alturas con techos a un agua, dos aguas y techos sin artesa.

Los parámetros que intervienen en el cálculo de carga de viento son:

1. Velocidad básica del viento,  $V$
2. Factor direccional del viento,  $K_d$
3. Categoría de exposición, B, C o D
4. Factor topográfico,  $K_{zt}$
5. Factor de efecto ráfaga,  $G$
6. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  o  $K_h$
7. Presión de velocidad,  $q_h$
8. Coeficiente de presión neta,  $C_N$
9. Presión de viento,  $p$

Los parámetros,  $V$ ,  $K_d$ , categoría de exposición,  $K_{zt}$  y  $G$  deben calcularse según lo descrito en el capítulo 2 de este documento.

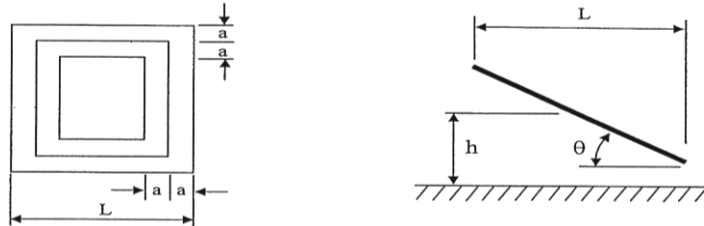
#### **5.4.1. Coeficiente de presión de velocidad**

El coeficiente  $K_z$  o  $K_h$  debe obtenerse en la tabla VII basada en la altura de la estructura y la categoría de exposición.

#### **5.4.2. Coeficiente de presión neta, $C_N$**

El coeficiente de presión externa,  $C_N$ , debe calcularse de acuerdo con las figuras 29, 30 y 31, identificando la zona donde se encuentra el elemento en análisis.

Figura 38. **Coeficiente de presión neta para techos de un agua en estructuras abiertas con  $0,25 \leq h/L \leq 1,0$  y  $\theta \leq 45^\circ$**



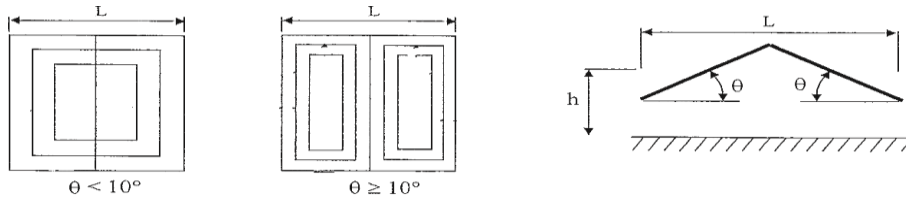
Ángulo del techo, $\theta$	Área Efectiva del Viento	$C_N$											
		Flujo Libre del Viento						Flujo Obstruido del Viento					
		Zona 3		Zona 2		Zona 1		Zona 3		Zona 2		Zona 1	
0°	$\leq a^2$	2.4	-3.3	1.8	-1.7	1.2	-1.1	1	-3.6	0.8	-1.8	0.5	-1.2
	$> a^2, \leq 4.0a^2$	1.8	-1.7	1.8	-1.7	1.2	1.1	0.8	-1.8	0.8	-1.8	0.5	-1.2
	$> 4.0a^2$	1.2	-1.1	1.2	-1.1	1.2	-1.1	0.5	-1.2	0.5	-1.2	0.5	-1.2
7.5°	$\leq a^2$	3.2	-4.2	2.4	-2.1	1.6	-1.4	1.6	-5.1	1.2	-2.6	0.8	-1.7
	$> a^2, \leq 4.0a^2$	2.4	-2.1	2.4	-2.1	1.6	-1.4	1.2	-2.6	1.2	-2.6	0.8	-1.7
	$> 4.0a^2$	1.6	-1.4	1.6	-1.4	1.6	-1.4	0.8	-1.7	0.8	-1.7	0.8	-1.7
15°	$\leq a^2$	3.6	-3.8	2.7	-2.9	1.8	-1.9	2.4	-4.2	1.8	-3.2	1.2	-2.1
	$> a^2, \leq 4.0a^2$	2.7	-2.9	2.7	-2.9	1.8	-1.9	1.8	-3.2	1.8	-3.2	1.2	-2.1
	$> 4.0a^2$	1.8	-1.9	1.8	-1.9	1.8	-1.9	1.2	-2.1	1.2	-2.1	1.2	-2.1
30°	$\leq a^2$	5.2	-5	3.9	-3.8	2.6	-2.5	3.2	-4.6	2.4	-3.5	1.6	-2.3
	$> a^2, \leq 4.0a^2$	3.9	-3.8	3.9	-3.8	2.6	-2.5	2.4	-3.5	2.4	-3.5	1.6	-2.3
	$> 4.0a^2$	2.6	-2.5	2.6	-2.5	2.6	-2.5	1.6	-2.3	1.6	-2.3	1.6	-2.3
45°	$\leq a^2$	5.2	-4.6	3.9	-3.5	2.6	-2.3	4.2	-3.8	3.2	-2.9	2.1	-1.9
	$> a^2, \leq 4.0a^2$	3.9	-3.5	3.9	-3.5	2.6	-2.3	3.2	-2.9	3.2	-2.9	2.1	-1.9
	$> 4.0a^2$	2.6	-2.3	2.6	-2.3	2.6	-2.3	2.1	-1.9	2.1	-1.9	2.1	-1.9

Notas:

1.  $C_N$  denota la presión neta (contribuciones de arriba y debajo de la superficie).
2. El Flujo Libre del Viento denota el flujo del viento relativamente sin obstrucción con un bloqueo igual o menor al 50%. El Flujo Obstruido del Viento denota objetos debajo del techo que inhiben el flujo del viento (bloqueo >50%).
3. Para valores de  $\theta$  diferentes a los mostrados, es permitida la interpolación lineal.
4. Los valores positivos y negativos representan a las presiones actuando hacia y fuera de la superficie, respectivamente.
5. Los componentes y revestimiento deben ser diseñados para los coeficientes de presión positivos y negativos mostrados.
6. Notación:
  - a : 10% de la menor dimensión horizontal o  $0,4h$ , la que sea menor pero no menos que el 4% de la menor dimensión horizontal o  $0,9$  m.
  - L : dimensión horizontal de la estructura, medida a lo largo de la dirección del viento, m.
  - $\theta$  : ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 351.*

Figura 39. **Coeficiente de presión neta para techos de dos aguas de estructuras abiertas con  $0,25 \leq h/L \leq 1,0$  y  $\theta \leq 45^\circ$**



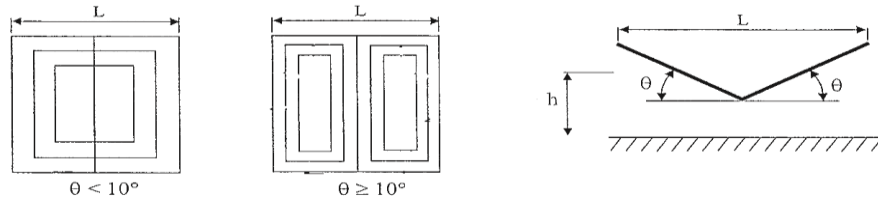
Ángulo del techo, $\theta$	Área Efectiva del Viento	$C_N$											
		Flujo Libre del Viento						Flujo Obstruido del Viento					
		Zona 3		Zona 2		Zona 1		Zona 3		Zona 2		Zona 1	
0°	$\leq a^2$	2,4	-3,3	1,8	-1,7	1,2	-1,1	1,0	-3,6	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	1,8	-1,7	1,8	-1,7	1,2	1,1	0,8	-1,8	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> 4,0a^2$	1,2	-1,1	1,2	-1,1	1,2	-1,1	0,5	-1,2	0,5	-1,2	0,5	-1,2
7,5°	$\leq a^2$	2,2	-3,6	1,7	-1,8	1,1	-1,2	1,0	-5,1	0,8	-2,6	0,5	-1,7
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	1,7	-1,8	1,7	-1,8	1,1	-1,2	0,8	-2,6	0,8	-2,6	0,5	-1,7
	$> 4,0a^2$	1,1	-1,2	1,1	-1,2	1,1	-1,2	0,5	-1,7	0,5	-1,7	0,5	-1,7
15°	$\leq a^2$	2,2	-2,2	1,7	-1,7	1,1	-1,1	1,0	-3,2	0,8	-2,4	0,5	-1,6
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	1,7	-1,7	1,7	-1,7	1,1	-1,1	0,8	-2,4	0,8	-2,4	0,5	-1,6
	$> 4,0a^2$	1,1	-1,1	1,1	-1,1	1,1	-1,1	0,5	-1,6	0,5	-1,6	0,5	-1,6
30°	$\leq a^2$	2,6	-1,8	2,0	-1,4	1,3	-0,9	1,0	-2,4	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	2,0	-1,4	2,0	-1,4	1,3	-0,9	0,8	-1,8	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> 4,0a^2$	1,3	-0,9	1,3	-0,9	1,3	-0,9	0,5	-1,2	0,5	-1,2	0,5	-1,2
45°	$\leq a^2$	2,2	-1,6	1,7	-1,2	1,1	-0,8	1,0	-2,4	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	1,7	-1,2	1,7	-1,2	1,1	-0,8	0,8	-1,8	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> 4,0a^2$	1,1	-0,8	1,1	-0,8	1,1	-0,8	0,5	-1,2	0,5	-1,2	0,5	-1,2

Notas:

7.  $C_N$  denota la presión neta (contribuciones de arriba y debajo de la superficie).
8. El Flujo Libre del Viento denota el flujo del viento relativamente sin obstrucción con un bloqueo igual o menor al 50%. El Flujo Obstruido del Viento denota objetos debajo del techo que inhiben el flujo del viento (bloqueo >50%).
9. Para valores de  $\theta$  diferentes a los mostrados, es permitida la interpolación lineal.
10. Los valores positivos y negativos representan a las presiones actuando hacia y fuera de la superficie, respectivamente.
11. Los componentes y revestimiento deben de ser diseñados para los coeficientes de presión positivos y negativos mostrados.
12. Notación:
  - a : 10% de la menor dimensión horizontal o 0.4h , la que sea menor pero no menos que el 4% de la menor dimensión horizontal o 0.9 m.
  - L : dimensión horizontal de la estructura, medida a lo largo de la dirección del viento, m.
  - $\theta$  : ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 352.*

Figura 40. **Coefficiente de presión neta para techos acanalados de estructuras abiertas con  $0,25 \leq h/L \leq 1,0$  y  $\theta \leq 45^\circ$**



Ángulo del techo, $\theta$	Área Efectiva del Viento	$C_N$											
		Flujo Libre del Viento					Flujo Obstruido del Viento						
		Zona 3		Zona 2		Zona 1	Zona 3		Zona 2		Zona 1		
0°	$\leq a^2$	2,4	-3,3	1,8	-1,7	1,2	-1,1	1,0	-3,6	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	1,8	-1,7	1,8	-1,7	1,2	1,1	0,8	-1,8	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> 4,0a^2$	1,2	-1,1	1,2	-1,1	1,2	-1,1	0,5	-1,2	0,5	-1,2	0,5	-1,2
7,5°	$\leq a^2$	2,4	-3,3	1,8	-1,7	1,2	-1,1	1,0	-4,8	0,8	-2,4	0,5	-1,6
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	1,8	-1,7	1,8	-1,7	1,2	-1,1	0,8	-2,4	0,8	-2,4	0,5	-1,6
	$> 4,0a^2$	1,2	-1,1	1,2	-1,1	1,2	-1,1	0,5	-1,6	0,5	-1,6	0,5	-1,6
15°	$\leq a^2$	2,2	-2,2	1,7	-1,7	1,1	-1,1	1,0	-2,4	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	1,7	-1,7	1,7	-1,7	1,1	-1,1	0,8	-1,8	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> 4,0a^2$	1,1	-1,1	1,1	-1,1	1,1	-1,1	0,5	-1,2	0,5	-1,2	0,5	-1,2
30°	$\leq a^2$	1,8	-2,6	1,4	-2,0	0,9	-1,3	1,0	-2,8	0,8	-2,1	0,5	-1,4
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	1,4	-2,0	1,4	-2,0	0,9	-1,3	0,8	-2,1	0,8	-2,1	0,5	-1,4
	$> 4,0a^2$	0,9	-1,3	0,9	-1,3	0,9	-1,3	0,5	-1,4	0,5	-1,4	0,5	-1,4
45°	$\leq a^2$	1,6	-2,2	1,2	-1,7	0,8	-1,1	1,0	-2,4	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> a^2, \leq 4,0a^2$	1,2	-1,7	1,2	-1,7	0,8	-1,1	0,8	-1,8	0,8	-1,8	0,5	-1,2
	$> 4,0a^2$	0,8	-1,1	0,8	-1,1	0,8	-1,1	0,5	-1,2	0,5	-1,2	0,5	-1,2

Notas:

13.  $C_N$  denota la presión neta (contribuciones de arriba y debajo de la superficie).
14. El Flujo Libre del Viento denota el flujo del viento relativamente sin obstrucción con un bloqueo igual o menor al 50%. El Flujo Obstruido del Viento denota objetos debajo del techo que inhiben el flujo del viento (bloqueo >50%).
15. Para valores de  $\theta$  diferentes a los mostrados, es permitida la interpolación lineal.
16. Los valores positivos y negativos representan a las presiones actuando hacia y fuera de la superficie, respectivamente.
17. Los componentes y revestimiento deben ser diseñados para los coeficientes de presión positivos y negativos mostrados.
18. Notación:
  - a : 10% de la menor dimensión horizontal o  $0,4h$ , la que sea menor pero no menos que el 4% de la menor dimensión horizontal o 0,9 m.
  - L : dimensión horizontal de la estructura, medida a lo largo de la dirección del viento, m.
  - $\theta$  : ángulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010. p. 353.*

### 5.4.3. Presión de velocidad

La presión de velocidad para los componentes y el revestimiento de las estructuras abiertas deben calcularse con base en la ecuación 5.3.

$$p = q_h G C_N \quad (5.3)$$

Donde

- $q_h$  Velocidad de presión a la altura media del techo, h
- G Factor de efecto ráfaga, calculado en el capítulo 2
- $C_N$  Coeficiente de presión neta

El coeficiente de presión externa,  $C_N$ , incluye contribuciones de las superficies inferiores y superiores. Los signos negativo y positivo indican las presiones actuando hacia y en contra de la superficie analizada, o sea, barlovento y sotavento.

### 5.5. Parte 6: elementos específicos en la estructura

Al igual que los Sistemas principales de resistencia de fuerza de viento, los componentes y el revestimiento poseen una sección destinada al diseño de elementos específicos como los parapetos y las salientes del techo.

La parte 6 está dividida en dos secciones. La primera se destina al análisis de las cargas de viento sobre parapetos en base a los diferentes tipos de techo que posee la estructura. La segunda corresponde a salientes del techo para techos planos, a dos aguas y a cuatro aguas.

### **5.5.1. Parapetos**

Para obtener la carga de viento que actúa sobre los parapetos es necesario obtener los siguientes parámetros:

1. Velocidad básica del viento,  $V$
2. Factor direccional del viento,  $K_d$
3. Categoría de exposición, B, C o D
4. Factor topográfico,  $K_{zt}$
5. Clasificación de cerramiento
6. Coeficiente de presión interna,  $(GC_{pi})$
7. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_h$ , a la altura del borde superior del parapeto
8. Presión de velocidad,  $q_p$ , a la altura del borde superior del parapeto
9. Coeficiente de presión externa,  $(GC_p)$
10. Presión de viento,  $p$

Los parámetros  $V$ ,  $K_d$ , categoría de exposición,  $K_{zt}$ , clasificación de cerramiento y el coeficiente de presión interna se deben obtener con base en el capítulo 2.

#### **5.5.1.1. Coeficiente de presión de velocidad**

El coeficiente de presión de velocidad de exposición se obtiene de la tabla VII en base a la altura y la categoría de exposición.

#### **5.5.1.2. Presión de velocidad**

La presión de velocidad se calcula por medio de la ecuación 5.4.



$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 \quad (\text{N/m}^2) \quad (5.4)$$

### 5.5.1.3. Coeficiente de presión externa

El coeficiente de presión externa se obtiene de las figuras 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 y 37, según aplique.

### 5.5.1.4. Presión de viento

La presión de velocidad se calcula en base a la ecuación (5.5).

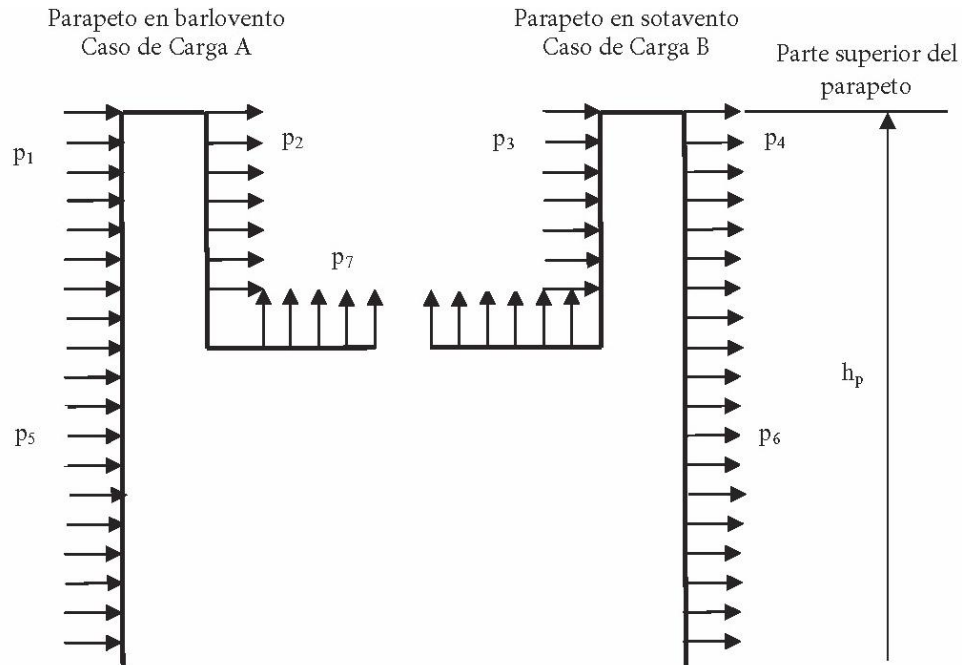
$$p = q_p [(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (5.5)$$

Donde

- $q_p$  Presión de velocidad
- $(GC_p)$  Coeficiente de presión externa
- $(GC_{pi})$  Coeficiente de presión interna

Para el diseño de parapetos se deben tomar dos casos en cuenta, según la figura 41.

Figura 41. **Cargas de viento sobre los componentes y el revestimiento de parapetos en todo tipo de estructuras y alturas**



**Parapeto en Barlovento**

Caso de Carga A

1. La presión del parapeto en barlovento ( $p_1$ ) es determinada usando la presión positiva del muro ( $p_5$ ) en las zonas 4 o 5 en base a la figura que aplique.
2. La presión del parapeto en sotavento ( $p_2$ ) es determinada usando la presión negativa del techo ( $p_7$ ) en las zonas 2 o 3 en base a la figura que aplique.

**Parapeto en Sotavento**

Caso de Carga B

1. La presión del parapeto en barlovento ( $p_3$ ) es determinada usando la presión positiva del muro ( $p_5$ ) en las zonas 4 o 5 en base a la figura que aplique.
2. La presión del parapeto en sotavento ( $p_4$ ) es determinada usando la presión negativa del techo ( $p_6$ ) en las zonas 2 o 3 en base a la figura que aplique.

**Nota:** Ver la nota 5 en la figura 19 y la nota 7 en la figura 28 para la reducción de las presiones del techo para los componentes y revestimiento cuando están presentes parapetos de 0.92 m o mayores están presentes.

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010.* p. 354.

- Caso A de carga

En el caso de parapetos con viento en barlovento, la carga de presión positiva en el muro se debe calcular como la figura 27, para parapetos a una altura menor o igual a 18,3 m, o con la figura 37, para parapetos a alturas mayores de 18.3 m. Simultáneamente, se debe aplicar la presión de los bordes o de la zona de la esquina del techo con base en las figuras 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 y la figura 15 basados en la nota 4 o 37 para alturas  $h$  mayores a 18,3 m según corresponda a la superficie del parapeto en sotavento.

- Caso B de carga

Se deben aplicar cargas de presión positiva a los parapetos en sotavento, según las figuras 27 (para estructuras menores o iguales a 18,3 m) o 37 (para estructuras mayores a 18,3 m). Para la superficie en presión negativa se deben aplicar las cargas de viento descritas en las figuras 27 (para estructuras menores o iguales a 18,3 m) o 37 (para estructuras mayores a 18,3 m) según aplique a la superficie en sotavento. Los bordes y esquinas deben ser analizados según las figuras aplicables.  $(GC_p)$  debe determinarse según el ángulo del techo de la estructura y el área de viento efectiva, según lo descrito en la sección 5.8.

### **5.5.2. Salientes del techo**

El cálculo de cargas de viento sobre saliente de techo se basa en la parte 6 del capítulo 30 del ASCE 7-10. Esta sección es para estructuras cerradas o parcialmente cerradas. Los parámetros por obtener son los siguientes:

1. Velocidad básica del viento,  $V$
2. Factor de direccionalidad del viento,  $K_d$

3. Categoría de exposición B, C o D
4. Factor topográfico,  $K_{zt}$
5. Clasificación de cerramiento
6. Coeficiente de presión interna ( $GC_{pi}$ )
7. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_h$
8. Presión de velocidad,  $q_h$  evaluado a la altura media del techo,  $h$
9. Coeficiente de presión externa, ( $GC_p$ )
10. Presión de viento,  $p$

Los parámetros  $V$ ,  $K_d$ , categoría de exposición,  $K_{zt}$ , clasificación de cerramiento y ( $GC_{pi}$ ) son calculados con base en lo descrito en el capítulo 2.

El factor  $K_h$  se obtiene de la tabla VII, utilizada para las demás partes de este capítulo. La presión de velocidad,  $q_h$ , se calcula con base en la ecuación 5.1 y la presión de diseño se calcula en base a la ecuación 5.7. Los coeficientes de presión externa se obtienen de las figuras 28, 29 y 30. Para estructuras con  $h$  menor a 48 metros, se debe utilizar la zonificación de presiones de la figura 43.

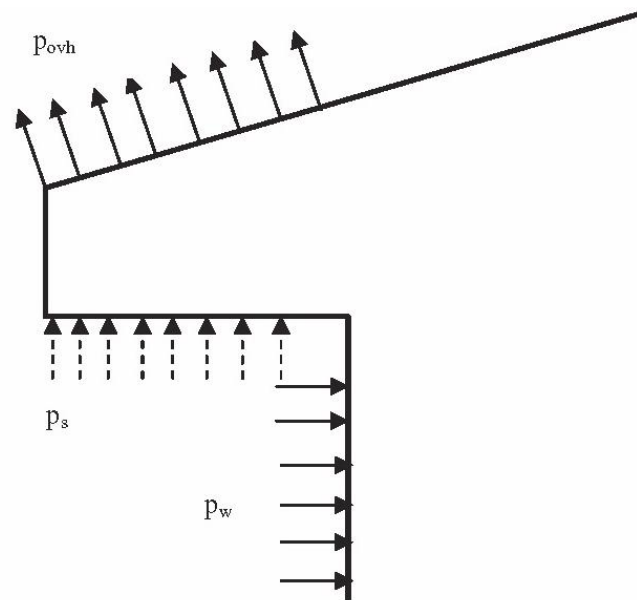
Finalmente, se calcula la presión de viento con base en la siguiente ecuación:

$$p = q_h [(GC_p) - (GC_{pi})] \quad (5.7)$$

Donde

- $q_h$  Presión de velocidad
- $(GC_p)$  Coeficiente de presión externa
- $(GC_{pi})$  Coeficiente de presión interna

Figura 42. Presiones sobre las salientes del techo y el sofito

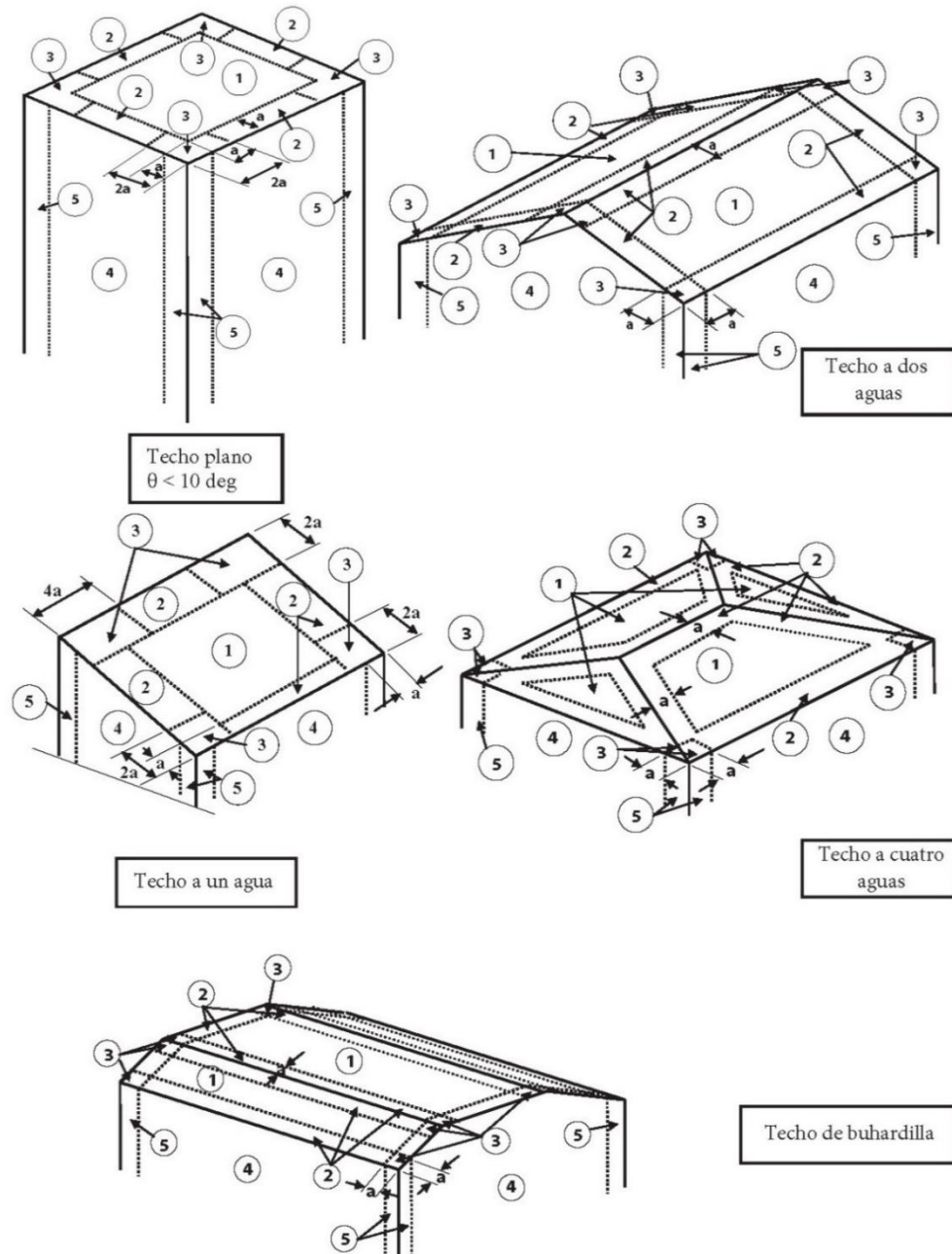


Notas:

1. La presión neta  $p_{ovh}$  sobre las salientes del techo se determina desde las zona interior, borde o esquina, según la figura que aplique.
2. La presión neta  $p_{ovh}$  de las figuras incluye la contribución de las presiones de la parte inferior y superior de la superficie de los aleros del techo.
3. La presión positiva sobre el sofito  $p_s$  del alero del techo es la misma que la presión del muro adyacente  $p_w$ .

Fuente: *American Society of Civil Engineers, Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 355.

Figura 43. **Zonificación de presiones sobre componentes y revestimiento para estructuras cerradas con  $h \leq 48.8$  m**



Fuente: American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads of buildings and other structures 2010*. p. 353.

## **5.6. Componentes y revestimiento**

La presión positiva sobre el sofito del alero del techo es la misma que la presión del muro adyacente.

El ASCE 7-10 establece que los componentes y revestimiento son los elementos que no forman parte del Sistema principal de resistencia de fuerza de viento. De manera más explícita, en sus comentarios, el manual expone qué elementos son los componentes.

La forma más general de establecer si un elemento forma parte de los componentes y revestimiento es analizando si el elemento recibe carga directamente del revestimiento y lo transfiere a un Sistema principal de resistencia de fuerza de viento. El revestimiento es aquel que recibe directamente la carga de viento.

Ejemplos de componentes son: sujetadores, costaneras, tijeras, montantes, entablado de techo y armaduras. Estos elementos pueden formar parte del Sistema principal de resistencia de fuerza de viento si actúan como muros de corte o diafragmas del techo. A pesar de ello, sus elementos deben ser analizados como componentes.

Ejemplos de revestimiento son: cubiertas de muros, muros cortina, cubiertas de techos, ventanas exteriores y puertas.

## **5.7. Criterio de selección de área efectiva de viento**

El área efectiva de viento,  $A$ , utilizada para determinar el coeficiente de presión externa,  $(GC_p)$ , para el análisis de presiones de viento sobre componentes y revestimiento, se debe seleccionar con base en dos casos.

Caso 1. El área efectiva de viento es la misma que el área tributaria del elemento en análisis.

Caso 2. El área efectiva de viento en elementos esbeltos se realiza por medio del área tributaria del elemento con ancho no menor a un tercio de la longitud del elemento. Esto incrementa el área efectiva de viento del elemento y reduce el coeficiente de presión externa, la presión final debe ser aplicada al área tributaria del elemento.

Para las puertas y ventanas apoyadas en tres o más lados, el área efectiva es el área del elemento en consideración.

En los techos con sistema de membrana, la zona efectiva de viento es el área de la membrana o panel aislado, si los paneles están totalmente adheridos a la cubierta. Si las membranas o paneles aislados están mecánicamente unidos o parcialmente adheridos a la cubierta, el área efectiva de viento es el área del panel o membrana asegurada por un solo sujetador o final de adhesivo.





## 6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE CARGA DE VIENTO PROPUESTA POR AGIES

La metodología propuesta por AGIES se basa en los métodos desarrollados por ASCE. En el caso de las presiones internas, AGIES propone coeficientes de presión que incorporan las presiones internas y externas sobre la superficie en análisis.

AGIES, al igual que ASCE, propone categorías de exposición de la estructura basadas en las características del entorno. La selección de la categoría de exposición se describe en el inciso 2.2.

Para el cálculo de presiones de viento en AGIES, se presenta la siguiente ecuación:

$$P = C_e C_q q_s I \quad (6.1)$$

Donde

- P Presión de diseño de viento
- $C_e$  Coeficiente de exposición
- $C_q$  Coeficiente de presión
- $q_s$  Presión de remanso del viento
- I Factor de importancia

El valor del coeficiente de exposición  $C_e$  depende de la altura del edificio y su categoría de exposición. Los valores se describen en la tabla VIII.

Tabla VIII. **Coefficientes de exposición,  $C_e$ , método AGIES**

<b>Altura sobre el nivel promedio del terreno (m)</b>	<b>Exposición D</b>	<b>Exposición C</b>	<b>Exposición B</b>
4,50	1,39	1,06	0,62
6,00	1,45	1,13	0,67
7,50	1,50	1,19	0,72
9,00	1,54	1,23	0,76
12,00	1,62	1,31	0,84
18,00	1,73	1,43	0,95
24,00	1,81	1,53	1,04
30,00	1,88	1,61	1,13
36,00	1,93	1,67	1,20
48,00	2,02	1,79	1,31
60,00	2,10	1,87	1,42
90,00	2,23	2,05	1,63
120,00	2,34	2,19	1,80

Fuente: AGIES, Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección NSE 2-10.  
p. 29.

Los valores para el coeficiente de presión se describen en la tabla IX. Los valores se seleccionan con base en la descripción del valor del coeficiente y la dirección de la presión. Un coeficiente hacia fuera representa una presión negativa que succiona la superficie externa de la estructura, un coeficiente hacia dentro representa una presión positiva sobre la superficie externa de la estructura.

Tabla IX. Coeficientes de presión,  $C_q$ , método AGIES

Estructura o parte de la misma	Descripción	Factor $C_q$
1. Estructuras y Sistemas Primarios	Muros	
	Muro en barlovento	0,8 hacia adentro
	Muro en sotavento	0,5 hacia afuera
	Techos	
	Viento perpendicular a la cumbrera	
	Techo en sotavento o techo plano	0,7 hacia afuera
	Techo en barlovento:	
Pendiente menor a 1:6	0,7 hacia afuera	
Pendiente mayor a 1:6 y menor a 3:4	0,9 hacia afuera o 0.3 hacia adentro	
Pendiente mayor a 3:4 y menor a 1:1	0,4 hacia adentro	
Pendiente mayor a 1:1	0,7 hacia adentro	
Viento paralelo a la cumbrera y techo plano	0,7 hacia afuera	
2. Elementos y componentes que no están en áreas de discontinuidad	Elementos de Muros:	
	Todas las estructuras	1,2 hacia dentro
	Estructuras encerradas y no encerradas	1,2 hacia fuera
	Estructuras parcialmente encerradas	1,6 hacia fuera
	Parapetos	1,3 hacia dentro o hacia fuera
	Elementos de Techos	
	Estructuras encerradas y no encerradas	
	Pendiente menor a 7:12	1,3 hacia fuera
	Pendiente mayor a 7:12 y menor a 1:1	1,3 hacia fuera o hacia dentro
	Estructuras parcialmente encerradas	
Pendiente menor a 1:6	1,7 hacia fuera	
Pendiente mayor a 1:6 y menor a 7:12	1,6 hacia fuera	
Pendiente mayor a 1:6 y menor a 7:12	0,8 hacia dentro	
Pendiente mayor a 7:12 y menor a 1:1	1,7 hacia dentro o hacia fuera	
3. Elementos y componentes en áreas de discontinuidad	Esquinas de Muros	
	Aleros de techos, cornizas inclinadas o cumbreras sin voladizos	
	Pendiente menor a 1:6	2,3 hacia arriba
	Pendiente mayor a 1:6 y menor a 7:12	2,6 hacia afuera
	Pendiente mayor a 7:12 y menor a 1:1	1,6 hacia afuera
Voladizos en aleros de techos, cornizas inclinadas o cumbreras y toldos	0,5 sumado a los valores anteriores	
4. Chimeneas, tanques y torres sólidas	Cuadrado o rectangular	1,4 en cualquier dirección
	Hexagonal u octogonal	1,1 en cualquier dirección
	Redondo o elíptico	0,8 en cualquier dirección
5. Torres de estructuras abiertas	Cuadrado y rectangular	
	Diagonal	4,0
	Normal	3,6
	Triangular	3,2
6. Accesorios de torres (escaleras, conductos, lámparas y ascensores)	Elementos cilíndricos	
	51 mm o menor diámetro	1,0
	Mayores de 51 mm de diámetro	0,8
Miembros planos o angulares	1,3	
7. Señalización, astas de bandera, postes de luz y estructuras menores		1,4 en cualquier dirección

Fuente: AGIES, Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección NSE 2-10.

Tabla X. **Presiones de viento, método AGIES**

Velocidad básica del viento (Km/h)	100	110	120
Presión (Pa)	474	573	682

Fuente: AGIES, Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección NSE 2-10.

p. 31.

La distribución de las velocidades básicas del viento sobre el territorio nacional se presenta en la figura 8.

El factor de importancia,  $I$ , posee dos valores: el primer valor es 1,15 y debe de ser utilizado en obras que se clasifican como esenciales; el segundo valor es 1,0 y se utiliza en obras de otras clasificaciones.

## 7. EJEMPLIFICACIÓN DEL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS

### 7.1. Análisis de estructura menor a 18 m por el método de la envolvente, AGIES y capítulo 5

Los pasos para analizar una estructura de baja altura, empleando el método de la envolvente y el método AGIES, son los siguientes:

#### 7.1.1. Pasos para el método de la envolvente

- a. Velocidad de viento con base en la figura 8.
- b. Factor de direccionalidad,  $K_d$ , con base en la tabla III.
- c. Categoría de exposición según se describen en el capítulo 2.
- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ , según se describe en el capítulo 2.
- e. Clasificación de cerramiento con base en el tamaño y localización de las aberturas, según se describe en el capítulo 2.
- f. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ , de la tabla I.
- g. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  y  $K_h$ , descritos en la tabla VI.
- h. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ , con la ecuación 4.1.
- i. Coeficiente de presión externa,  $GC_p$ 
  - Techo a un agua y dos aguas: figuras 22, 23 y 24.
  - Techo cuatro aguas: figuras 23 y 25
  - Salientes del techo: 0,8
- j. Determinar presión de viento,  $p$ , con base en la ecuación 4.2 o 4.3, según aplique.

### **7.1.2. Pasos para el método AGIES**

- a. Velocidad de viento con base en la figura 8.
- b. Categoría de exposición según se describen en el capítulo 2.
- c. Coeficiente de exposición,  $C_e$ , de la tabla VIII.
- d. Coeficiente de presión,  $C_q$ , descritos en la tabla IX.
- e. Determinar presión de remanso del viento,  $q_s$ , descritos en la tabla X.
- f. Factor de importancia: 1,15 para obras esenciales y 1,0 para otras clasificaciones.
- g. Determinar presión de viento,  $p$ , con base en la ecuación 6.1.

### **7.1.3. Pasos para analizar componentes y revestimiento para estructuras menores a 18 m**

- a. Velocidad de viento con base en la figura 8.
- b. Factor de direccionalidad,  $K_d$ , con base en la tabla III.
- c. Categoría de exposición según se describen en el capítulo 2.
- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ , según se describe en el capítulo 2.
- e. Clasificación de cerramiento con base en el tamaño y localización de las aberturas, según se describe en el capítulo 2.
- f. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ , de la tabla I.
- g. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  y  $K_h$ , descritos en la tabla VII.
- h. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ , con la ecuación 5.1.
- i. Coeficiente de presión externa,  $GC_p$ .

Techo de dos aguas y cuatro aguas: figuras 28, 29 y 30.

Techos escalonados: figura 31.

Módulos continuos a dos aguas: figura 32.

Techos a un agua: figuras 33 y 34.

Techos de cierra: figura 35.

Domos: figura 36.

Techos arqueados: figura 15.

- j. Determinar presión de viento,  $p$ , con base en la ecuación 5.2.

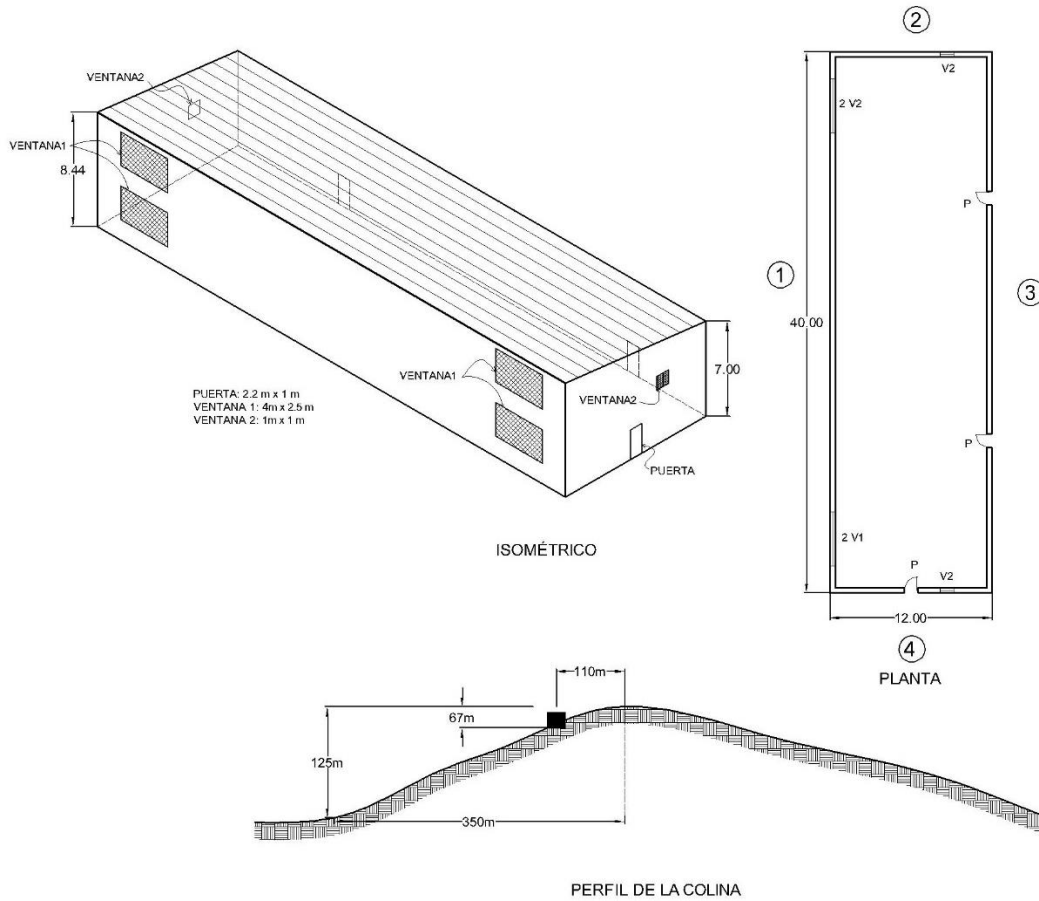
#### Caso de análisis

Se presenta la siguiente figura de una estructura que será construida en Izabal, cercana a la costa del golfo de México. La estructura de un nivel se encuentra cerca de la cresta de una colina, sin otro accidente topográfico que pueda afectar el flujo del viento, o sea, mayor a la mitad de su altura. Debido a que el techo y los muros de la estructura se recubrirán con lámina de 2 m de ancho efectivo, es importante conocer las cargas de viento que actuarán en el revestimiento. Las ventanas están cubiertas con cedazo.

Todas las puertas poseen las mismas dimensiones y existen dos tipos de ventanas, según se detalla en la figura 44. Todas las dimensiones están en metros.



Figura 44. Estructura ejemplo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

#### 7.1.4. Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, método de la envolvente.

- Velocidad de viento: 120 km/h = 33,33 m/s
- Factor de direccionalidad,  $K_d$ : 0,85
- Categoría de exposición: D

d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ : Debido a que la estructura está sobre la colina, es necesario verificar si cumple con las cinco condiciones establecidas en el capítulo 2.

- Condición 1

Según lo descrito en las condiciones del lugar, no existe otro accidente topográfico que pueda alterar el viento, por lo que se puede suponer que la condición se cumple.

- Condición 2

No existe otro accidente topográfico que presente, por lo menos, la mitad de su altura, por lo cual se cumple la condición donde se establece que la colina debe de ser más alta que dos veces la altura de cualquier otro accidente geográfico en un radio de 3220 m.

- Condición 3

La estructura se encuentra en la mitad superior de la colina, por lo tanto, se cumple la condición 3.

- Condición 4

$$\frac{H}{L_h} = \frac{125}{(350/2)} = 0,714 \geq 0,2$$

La condición 4 se cumple.

- Condición 5

La colina es más alta que 4,5 m para la exposición D.

Como se cumplen las cinco condiciones, es posible realizar el cálculo del factor topográfico. De la tabla II se obtiene  $\gamma = 4$ ,  $\mu = 1,5$  y la siguiente formula:

$$\frac{K_1}{(H/L_h)} = 1,15$$

$$\frac{H}{L_h} = \frac{125}{(350/2)} = 0,714$$

$$K_1 = 1,15 \frac{H}{L_h} = 1,15 \times 0,714 = 0,821$$

El valor de  $K_2$  se calcula de la siguiente manera:

$$K_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu L_h}\right) = \left(1 - \frac{|110 \text{ m}|}{1,5 \times 175 \text{ m}}\right) = 0,419$$

El valor de  $K_3$  se calcula de la siguiente manera:

$$K_3 = e^{-\gamma z/L_h} = e^{-4 \times 67/175} = 0,2078$$

Con los valores calculados anteriormente se obtiene el factor topográfico.

$$K_{zt} = (1 + K_1 \times K_2 \times K_3)^2 = (1 + 0,821 \times 0,419 \times 0,2078)^2 = 1,148$$

- e. Clasificación de cerramiento

El primer reconocimiento se realiza para una estructura abierta. Para que la estructura sea abierta todos los lados de la estructura deben poseer aberturas mayores al ochenta por ciento del área gruesa. En este caso, no se cumple por lo que se calcula si es una estructura cerrada o parcialmente cerrada.

- Condición 1

El área de las aberturas de una de las caras de la estructura debe ser mayor al ciento diez por ciento de la suma de las aberturas de las demás caras.

Área aberturas

$$A_{o1} = 4 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 4V_1 = 40 \text{ m}^2$$

$$A_{o2} = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1V_2 = 1 \text{ m}^2$$

$$A_{o3} = 2,20 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2\text{puertas} = 4,40 \text{ m}^2$$

$$A_{o4} = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1V_2 + 2,20 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ puerta} = 3,20 \text{ m}^2$$

Área del resto de las aberturas según cada cara

$$A_{oi1} = 1 \text{ m}^2 + 4,40 \text{ m}^2 + 3,20 \text{ m}^2 = 8,60 \text{ m}^2$$

$$A_{oi2} = 40 \text{ m}^2 + 4,40 \text{ m}^2 + 3,20 \text{ m}^2 = 47,60 \text{ m}^2$$

$$A_{oi3} = 40 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2 + 3,20 \text{ m}^2 = 44,20 \text{ m}^2$$

$$A_{oi4} = 40 \text{ m}^2 + 1 \text{ m}^2 + 4,40 \text{ m}^2 = 45,40 \text{ m}^2$$

Cara 1

$$40 \text{ m}^2 > 1,10 \times 8,60 \text{ m}^2 \text{ Si cumple}$$

Cara 2

$$1 \text{ m}^2 > 1,10 \times 47,60 \text{ m}^2 \text{ No cumple}$$

Cara 3

$$4,40 \text{ m}^2 > 1,10 \times 44,20 \text{ m}^2 \text{ No cumple}$$

Cara 4

$$3,2 \text{ m}^2 > 1,10 \times 45,40 \text{ m}^2 \text{ No cumple}$$

Debido a que la cara 1 cumple con la condición 1, se debe realizar el chequeo de la condición 2.1 y 2.2.

$$A_{g1} = 40 \text{ m} \times 8,44 \text{ m} = 337,60 \text{ m}^2$$

$$A_{gi1} = 40 \text{ m} \times 7 \text{ m} + 2 \left[ 12 \text{ m} \times \left( \frac{8,44 \text{ m} + 7 \text{ m}}{2} \right) \right] \text{ m}^2 = 139,68 \text{ m}^2$$

Condición 2.1

$$A_{o1} > 0,37 \text{ m}^2 \text{ Sí cumple}$$

Condición 2.2

$$8,60 \text{ m}^2 / 1391,68 \text{ m}^2 = 0,0061 \leq 0,20 \text{ Sí cumple}$$

- Conclusión. La estructura es parcialmente cerrada.
- f. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ :  $\pm 0,55$  según la tabla I.

- g. Coeficiente de presión de velocidad de exposición: El valor se obtiene mediante interpolación:

$$K_z = \frac{(1,12 - 0,8)}{(7,6 - 6,1)} (7 - 6,1) + 0,8 = 0,992$$
$$K_h = \frac{(1,16 - 1,12)}{(9,1 - 7,6)} (7,72 - 7,6) + 1,12 = 1,123$$

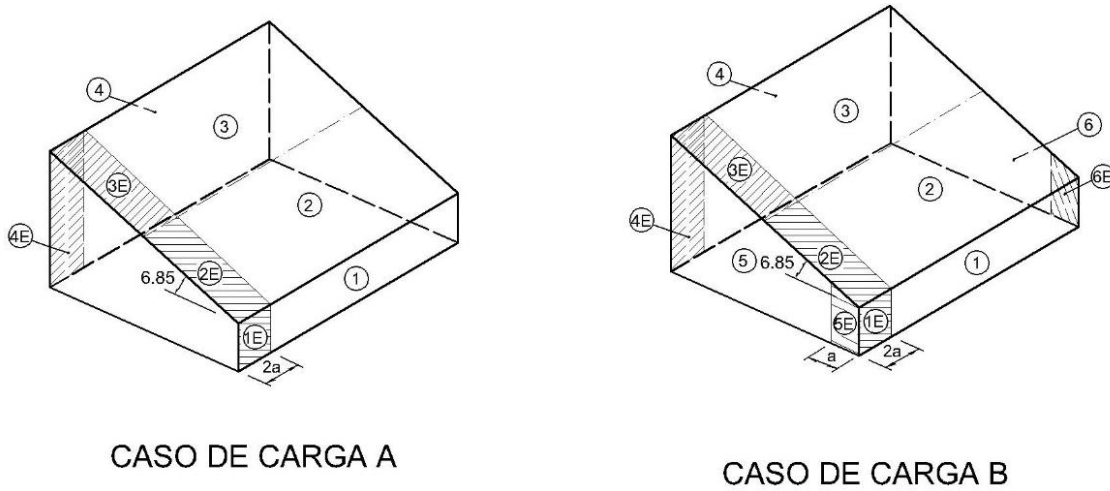
- h. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ :

$$q_z = 0,613 (0,992)(1,148)(0,85)(33,33\text{m/s})^2 = 659,18 \text{ N/m}^2$$

$$q_h = 0,613(1,123)(1,148)(0,85)(33,33\text{m/s})^2 = 746,23 \text{ N/m}^2$$

- i. Coeficiente de presión externa,  $GC_p$ . El diagrama de presiones se presenta en la siguiente imagen. Debido a que el viento cambia su dirección, es necesario analizar los ocho casos que se presentan en el capítulo 4.

Figura 45. Zonificación de coeficientes de presión externa, ejemplo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Las interpolaciones de los valores de los coeficientes de presión externa se presentan a continuación.

- Caso A

$$GC_{pf1} = \frac{(0,53 - 0,40)}{(20 - 5)} (6,85 - 5) + 0,4 = 0,42$$

$$GC_{pf2} = -0,69$$

$$GC_{pf3} = \frac{(-0,48 - (-0,37))}{(20 - 5)} (6,85 - 5) - 0,37 = -0,39$$

$$GC_{pf4} = \frac{(0,43 - (-0,29))}{(20 - 5)} (6,85 - 5) - 0,29 = -0,31$$

$$GC_{pf1E} = \frac{(0,80 - 0,61)}{(20 - 5)} (6,85 - 5) + 0,61 = 0,634$$

$$GC_{pf2E} = -1,07$$

$$GC_{pf3E} = \frac{(-0,48 - (-0,37))}{(20 - 5)} (6,85 - 5) - 0,37 = -0,55$$

$$GC_{pf4E} = \frac{(0,43 - (-0,29))}{(20 - 5)} (6,85 - 5) - 0,29 = -0,46$$

- Caso B

$$GC_{pf1} = -0,45 \quad GC_{pf2} = -0,69 \quad GC_{pf3} = -0,37$$

$$GC_{pf4} = -0,45 \quad GC_{pf5} = 0,40 \quad GC_{pf6} = -0,29$$

$$GC_{pf1E} = -0,48 \quad GC_{pf2E} = -1,07 \quad GC_{pf3E} = -0,53$$

$$GC_{pf4E} = -0,48 \quad GC_{pf5E} = 0,61 \quad GC_{pf6E} = -0,43$$

Debido a que la estructura es de un nivel, no es necesario realizar análisis de cargas de torsión.

- j. Determinar presión de viento, p

$$P = q_{h,z} [(GC_{pf}) - (GC_{pi})]$$

Presiones en muros para caso A

$$P1 = 659,18 \text{ N/m}^2 [0,42 \pm 0,55] = 639,41 \text{ N/m}^2, -85,69 \text{ N/m}^2$$

$$P1E = 659,18 \text{ N/m}^2 [0,634 \pm 0,55] = 780,47 \text{ N/m}^2, 55,37 \text{ N/m}^2$$

$$P4 = 659,18 \text{ N/m}^2 [-0,31 \pm 0,55] = 158,21 \text{ N/m}^2, -566,90 \text{ N/m}^2$$



$$P4E = 659,18 \text{ N/m}^2 [0,42 \pm 0,55] = 639,41 \text{ N/m}^2, -85,69 \text{ N/m}^2$$

Presiones en techos para caso A

$$P2 = 746,23 \text{ N/m}^2 [-0,69 \pm 0,55] = -104,48 \text{ N/m}^2, -925,37 \text{ N/m}^2$$

$$P2E = 746,23 \text{ N/m}^2 [-1,07 \pm 0,55] = -388,06 \text{ N/m}^2, -1208,94 \text{ N/m}^2$$

$$P3 = 746,23 \text{ N/m}^2 [-0,39 \pm 0,55] = -701,49 \text{ N/m}^2, +119,41 \text{ N/m}^2$$

$$P3E = 746,23 \text{ N/m}^2 [-0,55 \pm 0,55] = 0 \text{ N/m}^2, -820,90 \text{ N/m}^2$$

Presiones en muros para caso B

$$P1 = 659,18 \text{ N/m}^2 [-0,45 \pm 0,55] = 65,92 \text{ N/m}^2, -659,20 \text{ N/m}^2$$

$$P1E = 659,18 \text{ N/m}^2 [-0,48 \pm 0,55] = 46,15 \text{ N/m}^2, -678,96 \text{ N/m}^2$$

$$P4 = 659,18 \text{ N/m}^2 [-0,45 \pm 0,55] = 65,92 \text{ N/m}^2, -659,20 \text{ N/m}^2$$

$$P4E = 659,18 \text{ N/m}^2 [-0,48 \pm 0,55] = 46,15 \text{ N/m}^2, -678,96 \text{ N/m}^2$$

$$P5 = 659,18 \text{ N/m}^2 [-0,40 \pm 0,55] = 626,23 \text{ N/m}^2, -98,88 \text{ N/m}^2$$

$$P5E = 659,18 \text{ N/m}^2 [0,61 \pm 0,55] = 764,65 \text{ N/m}^2, 39,55 \text{ N/m}^2$$

$$P6 = 659,18 \text{ N/m}^2 [-0,29 \pm 0,55] = 171,39 \text{ N/m}^2, -553,72 \text{ N/m}^2$$

$$P6E = 659,18 \text{ N/m}^2 [-0,43 \pm 0,55] = 79,11 \text{ N/m}^2, -646 \text{ N/m}^2$$

Presiones en techo para caso B

$$P2 = 746,23 \text{ N/m}^2 [-0,69 \pm 0,55] = -104,48 \text{ N/m}^2, -925,37 \text{ N/m}^2$$

$$P2E = 746,23 \text{ N/m}^2 [-1,07 \pm 0,55] = -388,06 \text{ N/m}^2, -1208,94 \text{ N/m}^2$$

$$P3 = 746,23 \text{ N/m}^2 [-0,37 \pm 0,55] = 134,33 \text{ N/m}^2, -686,56 \text{ N/m}^2$$

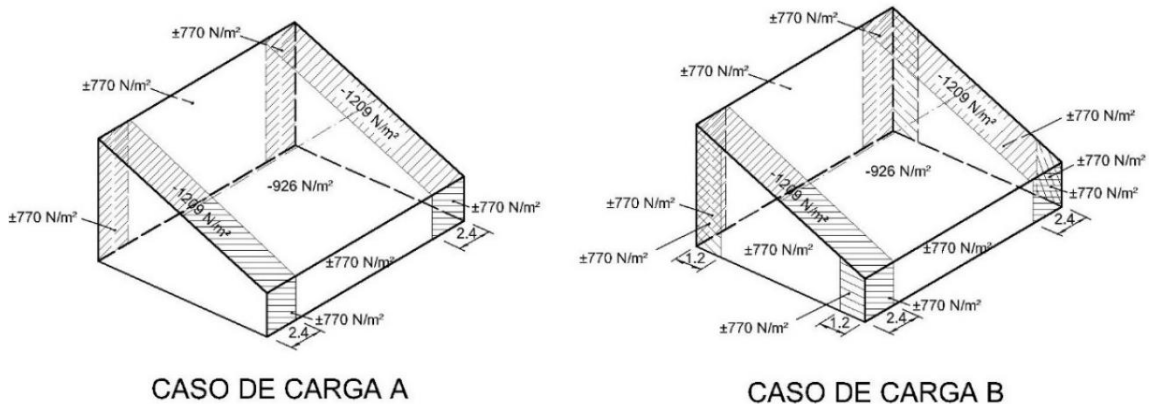
$$P3E = 746,23 \text{ N/m}^2 [-0,53 \pm 0,55] = 14,93 \text{ N/m}^2, -805,97 \text{ N/m}^2$$

- Presión mínima

$$P_{\min} \text{ Muros} = 770 \text{ N/m}^2 \quad P_{\min} \text{ Techo} = 380 \text{ N/m}^2$$

Las presiones finales máximas se presentan en la figura 46.

Figura 46. **Presiones de diseño para el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, ejemplo 1, método de la envolvente**



NOTA: Se debe de aplicar una carga positiva sobre el techo de 380 N/m<sup>2</sup> aplicada a la proyección vertical del área del techo.

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

### 7.1.5. Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, método AGIES

- Velocidad de viento: 120 Km/h = 33,33 m/s.
- Categoría de exposición: D
- Coefficiente de exposición,  $C_e$ : 1,53
- Coefficiente de presión,  $C_q$ :

Muro en barlovento: 0,8 hacia dentro

Muro en sotavento: 0,5 hacia fuera

Pendiente del techo:  $1,44 \text{ m} / 12 \text{ m} = 0,12$ , pendiente menor a 1:6

Techo en barlovento y sotavento: 0,6

e. Determinar presión de remanso del viento,  $q_s$ :  $682 \text{ N/m}^2$

f. Factor de importancia: 1,0

g. Determinar presión de viento,  $p$ :

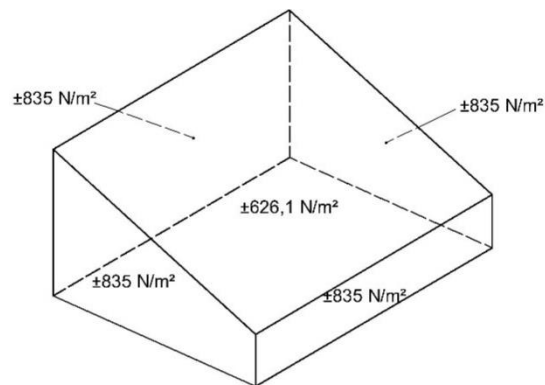
Muro en barlovento:  $(682 \text{ N/m}^2)(1,53)(0,8)(1,0) = 834,77 \text{ N/m}^2$

Muro en sotavento:  $(682 \text{ N/m}^2)(1,53)(0,5)(1,0) = 521,73 \text{ N/m}^2$

Techo:  $(682 \text{ N/m}^2)(1,53)(0,6)(1,0) = 626,08 \text{ N/m}^2$

Debido a que se desconoce la dirección del viento, la presión de viento sobre el muro será la más crítica, en este caso:  $834,77 \text{ N/m}^2$ .

Figura 47. **Presiones de diseño para el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, ejemplo 1, método AGIES**



CARGA DE VIENTO AGIES

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

### 7.1.6. Presiones para componentes y revestimiento

Para continuar con el análisis del edificio del ejemplo 1, los incisos a, b, c, d, e y f están basados en las mismas tablas, tanto para el sistema principal de resistencia de carga de viento como para los componentes y el revestimiento.

g. Coeficiente de presión de velocidad de exposición:

$$K_{z1 (8.44 \text{ m})} = \frac{(1,16 - 1,12)}{(9,1 - 7,6)} (8,44 - 7,6) + 1,12 = 1,15$$

$$K_{z2 (7.00 \text{ m})} = \frac{(1,12 - 1,08)}{(7,6 - 6,1)} (7 - 6,1) + 1,08 = 1,11$$

$$K_h (7.72 \text{ m}) = \frac{(1,16 - 1,12)}{(9,1 - 7,6)} (7,72 - 7,6) + 1,12 = 1,13$$

Los valores  $K_{z1}$  y  $K_{z2}$  son de acuerdo con las diferentes alturas de los muros del edificio.

h. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ :

$$q_{z1} = 0,613(0,85)(1,148)(1,15)(33,33\text{m/s})^2 = 764,20 \text{ N/m}^2$$

$$q_{z2} = 0,613(0,85)(1,148)(1,11)(33,33\text{m/s})^2 = 737,59 \text{ N/m}^2$$

$$q_h = 0,613(0,85)(1,148)(1,13)(33,33\text{m/s})^2 = 750,88 \text{ N/m}^2$$

i. Coeficiente de presión externa,  $GC_p$ , con base en las figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 y 27, según aplique.

Se utiliza la figura 18 para los coeficientes para muros.

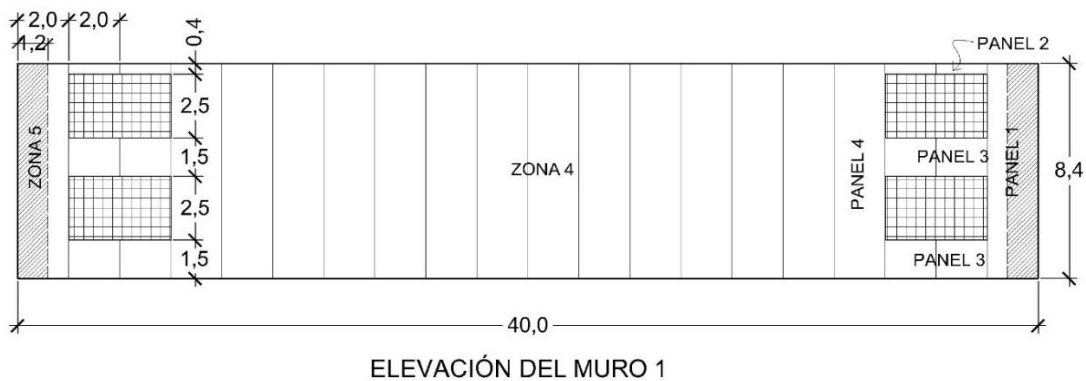
Tabla XI. **Coefficientes de presión externa para revestimiento de muros, ejemplo 1**

Área	Zona 4	Zona 5
≤ 0,9 m <sup>2</sup>	-1,10	-1,40
	+1,00	+1,00
1,9 m <sup>2</sup>	-1,05	-1,30
	+0,95	+0,95
4,6 m <sup>2</sup>	-1,00	-1,15
	+0,88	+0,88
9,3 m <sup>2</sup>	-0,90	-1,05
	+0,83	+0,83
18,6 m <sup>2</sup>	-0,87	-0,95
	+0,80	+0,80
≥ 46,5 m <sup>2</sup>	-0,80	-0,80
	+0,70	+0,70

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se demuestra un ejemplo del cálculo de presiones en el muro 1.

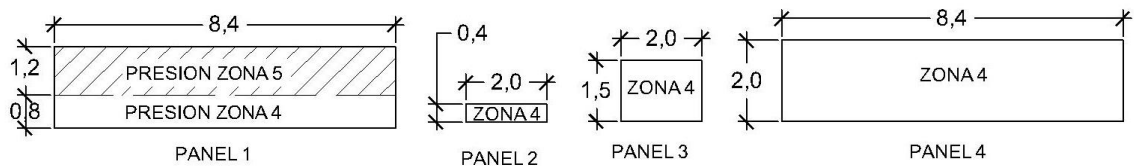
Figura 48. **Zonificación de presiones de viento sobre paneles de muro, ejemplo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Se utilizarán paneles con la longitud necesaria para evitar traslapes, por lo tanto, el área efectiva de cada panel es el área de cada una de las franjas verticales que se muestran en la figura anterior.

Figura 49. **Paneles de revestimiento presentes en muro, ejemplo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

- Panel 1

- Área efectiva

$$\text{Largo} = 8,40 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 2,00 \text{ m}$$

$$\text{Ancho}_{\min} = \frac{8,40 \text{ m}}{3} = 2,813 \text{ m}$$

$$\text{Área efectiva} = 8,40 \text{ m} \times 2,813 \text{ m} = 23,75 \text{ m}^2$$

- Coeficientes de presión externa

$$GC_{p_{(+)\text{zona } 5}} = \frac{(0,7-0,8)}{(46,5-18,6)} (23,75-18,60)+0,8=0,782$$

$$GC_{p_{(-)\text{zona } 5}} = \frac{(-0,8 - (-0,95))}{(46,5 - 18,6)} (23,75 - 18,60) - 0,95 = -0,922$$

$$GC_{P_{(+)zona\ 4}} = \frac{(0,7 - 0,8)}{(46,5 - 18,6)} (23,75 - 18,60) + 0,8 = 0,782$$

$$GC_{P_{(-)zona\ 4}} = \frac{(-0,8 - (-0,87))}{(46,5 - 18,6)} (23,75 - 18,60) - 0,87 = -0,857$$

- Panel 2

- Área efectiva

$$\text{Largo} = 2,00 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 0,44 \text{ m}$$

$$\text{Ancho}_{\min} = \frac{2,00 \text{ m}}{3} = 0,67 \text{ m}$$

$$\text{Área efectiva} = 2,00 \text{ m} \times 0,67 \text{ m} = 1,33 \text{ m}^2$$

- Coeficientes de presión externa

$$P_{(+)zona\ 4} = \frac{(0,95 - 1,00)}{(1,9 - 0,9)} (1,33 - 0,9) + 1 = 0,98$$

$$P_{(-)zona\ 4} = \frac{(-1,05 - (-1,1))}{(1,9 - 0,9)} (1,33 - 0,9) - 1,1 = -1,08$$

- Panel 3

- Área efectiva

$$\text{Largo} = 2,00 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{Ancho}_{\min} = \frac{2,00 \text{ m}}{3} = 0,67 \text{ m}$$

$$\text{Área efectiva} = 2,00 \text{ m} \times 1,5 \text{ m} = 3,00 \text{ m}^2$$

- Coeficientes de presión externa

$$P_{(+)\text{zona } 4} = \frac{(0,88 - 0,95)}{(4,6 - 1,9)} (3 - 1,9) + 0,95 = 0,922$$

$$P_{(-)\text{zona } 4} = \frac{(-1,00 - (-1,05))}{(4,6 - 1,9)} (3 - 1,9) - 1,05 = -1,03$$

- Panel 4

- Área efectiva

$$\text{Largo} = 8,44 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 2,00 \text{ m}$$

$$\text{Ancho}_{\min} = \frac{8,44 \text{ m}}{3} = 2,813 \text{ m}$$

$$\text{Área efectiva} = 8,44 \text{ m} \times 2,813 \text{ m} = 23,75 \text{ m}^2$$

- Coeficientes de presión externa

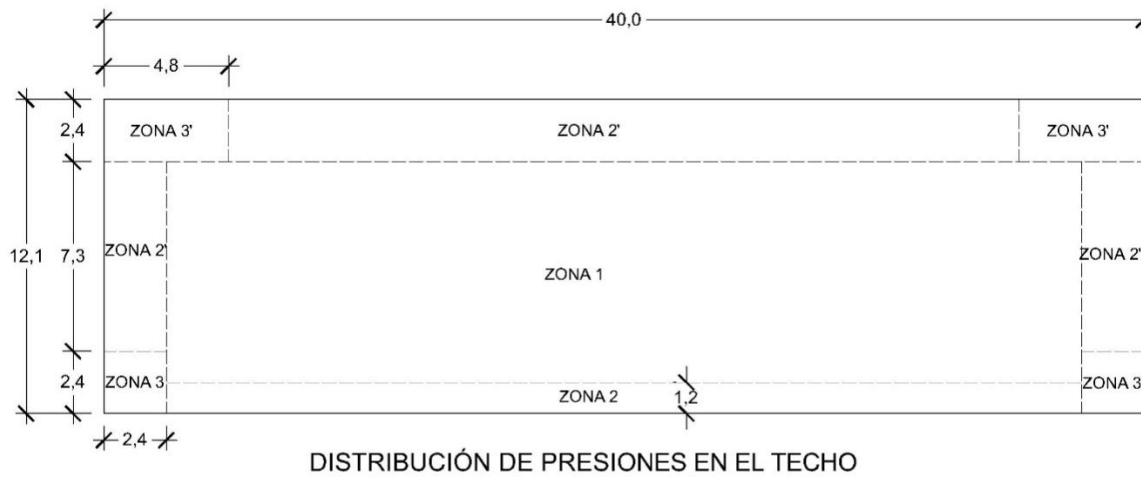
$$GC_{p(+)\text{zona } 4} = \frac{(0,7 - 0,8)}{(46,5 - 18,6)} (23,75 - 18,60) + 0,8 = 0,782$$

$$GC_{p(-)\text{zona } 4} = \frac{(-0,8 - (-0,87))}{(46,5 - 18,6)} (23,75 - 18,60) - 0,87 = -0,857$$



Utilizando la figura 24 para el techo con una sola pendiente

Figura 50. **Zonificación de presiones sobre el techo, ejemplo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

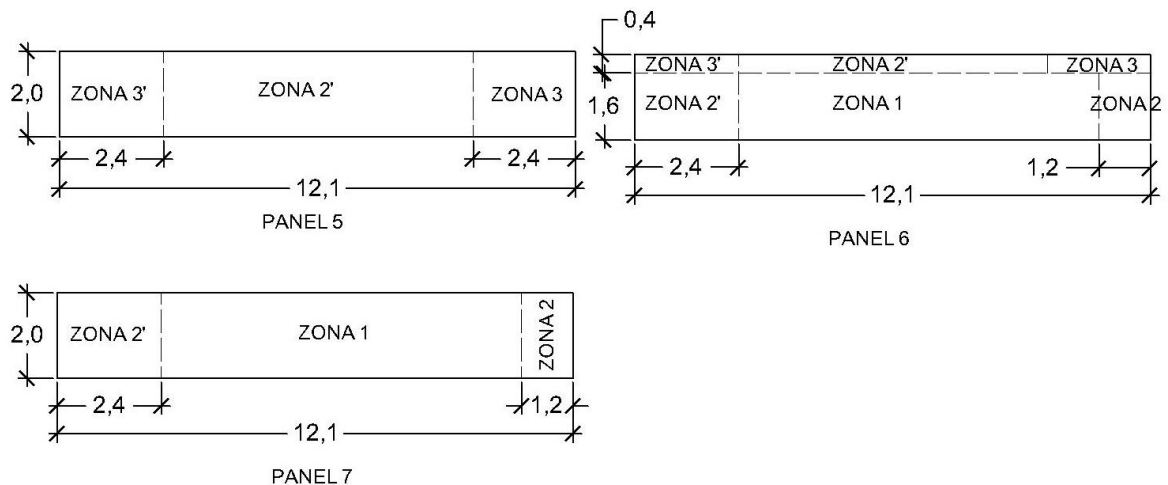
Tabla XII. **Coefficientes de presión externa para revestimiento del techo, ejemplo 1**

Área	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 2'	Zona 3'
≤ 0,9 m <sup>2</sup>	+0,30	+0,30	+0,30	+0,30	+0,30
	-1,10	-1,30	-1,80	-1,60	-2,60
1,9 m <sup>2</sup>	+0,27	+0,27	+0,27	+0,27	+0,27
	-1,10	-1,25	-1,62	-1,58	-2,30
4,6 m <sup>2</sup>	+0,22	+0,22	+0,22	+0,22	+0,22
	-1,10	-1,21	-1,39	-1,52	-1,90
≥ 9,3 m <sup>2</sup>	+0,20	+0,20	+0,20	+0,20	+0,20
	-1,10	-1,20	-1,20	-1,50	-1,60

Fuente: elaboración propia.

Los diferentes paneles que se pueden presentar en el techo son los siguientes:

Figura 51. **Paneles presentes en el techo a un agua con sus zonificaciones, ejemplo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Todos los paneles poseen la siguiente área efectiva:

$$\text{Largo} = 12,10 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 2,0 \text{ m}$$

$$\text{Ancho}_{\min} = \frac{12,10 \text{ m}}{3} = 4,029 \text{ m}$$

$$\text{Área efectiva} = 12,10 \text{ m} \times 4,029 \text{ m} = 48,69 \text{ m}^2$$

Con base en el área calculada se encuentran los coeficientes de presión externa.

Tabla XIII. **Coeficientes de presión externa finales para revestimiento del techo, ejemplo 1**

Coeficientes de presión externa					
Área	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA2'	ZONA 3'
≥ 9,3 m <sup>2</sup>	+0,20	+0,20	+0,20	+0,20	+0,20
	-1,10	-1,20	-1,20	-1,50	-1,60

Fuente: elaboración propia.

j. Determinar presión de viento, p

- Paneles de los muros

- Panel 1

$$P_{(+)\text{zona } 4} = 764,20 \text{ N/m}^2 [0,782 + 0,55] = +1\ 017,92 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(-)\text{zona } 4} = 764,20 \text{ N/m}^2 [-0,857 - 0,55] = -1\ 075,23 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(+)\text{zona } 5} = 764,20 \text{ N/m}^2 [0,782 + 0,55] = +1\ 017,92 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(-)\text{zona } 5} = 764,20 \text{ N/m}^2 [-0,922 - 0,55] = -1\ 124,91 \text{ N/m}^2$$

- Panel 2

$$P_{(+)\text{zona } 4} = 764,20 \text{ N/m}^2 [0,98 + 0,55] = +1\ 169,23 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(-)\text{zona } 4} = 764,20 \text{ N/m}^2 [-1,08 - 0,55] = -1\ 245,65 \text{ N/m}^2$$

- Panel 3

$$P_{(+)\text{zona } 4} = 764,20 \text{ N/m}^2 [0,922 + 0,55] = +1\ 124,91 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(-)z\text{ona } 4} = 764,20 \text{ N/m}^2[-1,03 - 0,55] = -1\,207,44 \text{ N/m}^2$$

- Panel 4

$$P_{(+)z\text{ona } 4} = 764,20 \text{ N/m}^2[0,782 + 0,55] = +1\,017,92 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(-)z\text{ona } 4} = 764,20 \text{ N/m}^2[-0,857 - 0,55] = -1\,075,23 \text{ N/m}^2$$

Presiones en el techo en base a un panel de 2m por 12.10m

$$P_{(+)z\text{ona } 1} = 750,88 \text{ N/m}^2[0,2 + 0,55] = +563,16 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(-)z\text{ona } 1} = 750,88 \text{ N/m}^2[-1,1 - 0,55] = -1238,96 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(+)z\text{ona } 2} = 750,88 \text{ N/m}^2[0,2 + 0,55] = +563,16 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(-)z\text{ona } 2} = 750,88 \text{ N/m}^2[-1,2 - 0,55] = -1314,04 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(+)z\text{ona } 3} = 750,88 \text{ N/m}^2[0,2 + 0,55] = +563,16 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(-)z\text{ona } 3} = 750,88 \text{ N/m}^2[-1,2 - 0,55] = -1314,04 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(+)z\text{ona } 2'} = 750,88 \text{ N/m}^2[0,2 + 0,55] = +563,16 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(-)z\text{ona } 2'} = 750,88 \text{ N/m}^2[-1,5 - 0,55] = -1539,31 \text{ N/m}^2$$

$$P_{(+)z\text{ona } 3'} = 750,88 \text{ N/m}^2[0,2 + 0,55] = +563,16 \text{ N/m}^2$$

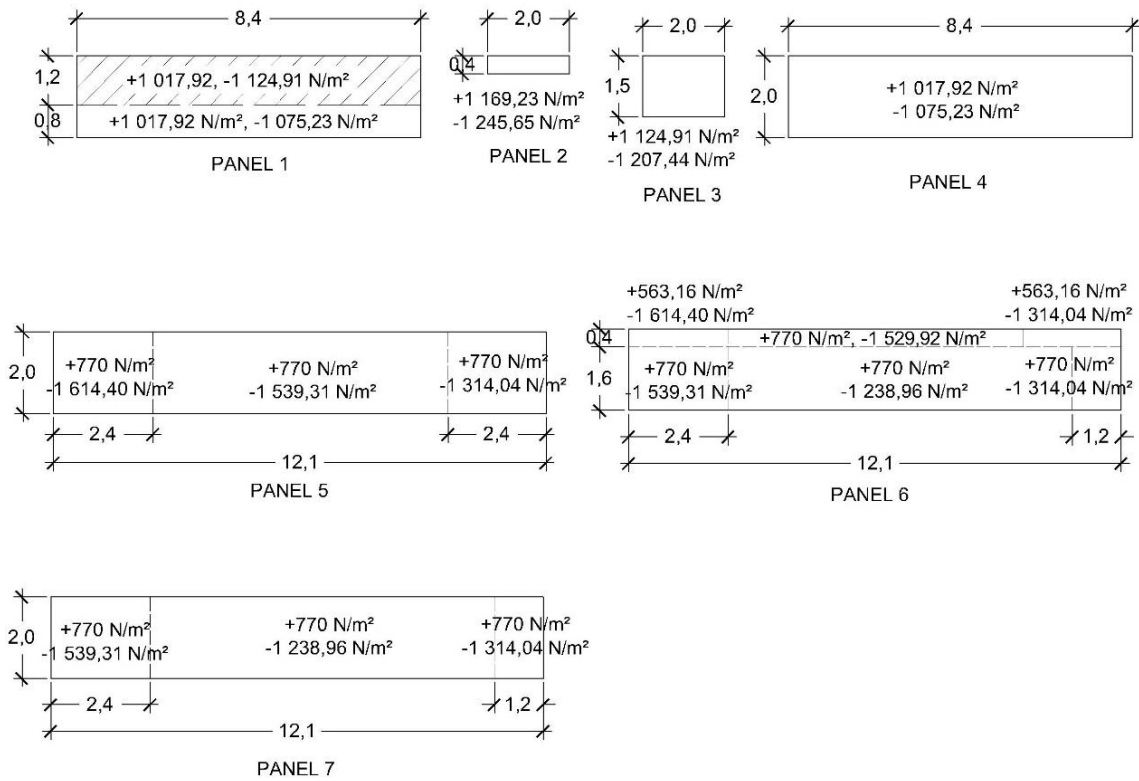
$$P_{(-)z\text{ona } 3'} = 750,88 \text{ N/m}^2[-1,6 - 0,55] = -1614,40 \text{ N/m}^2$$

La presión mínima para componentes y revestimiento es de 770 N/m<sup>2</sup>.

Las presiones finales para cada tipo de panel se presentan en la figura

52.

Figura 52. **Presiones de viento sobre diferentes paneles del techo para diseñar revestimiento, ejemplo 1**



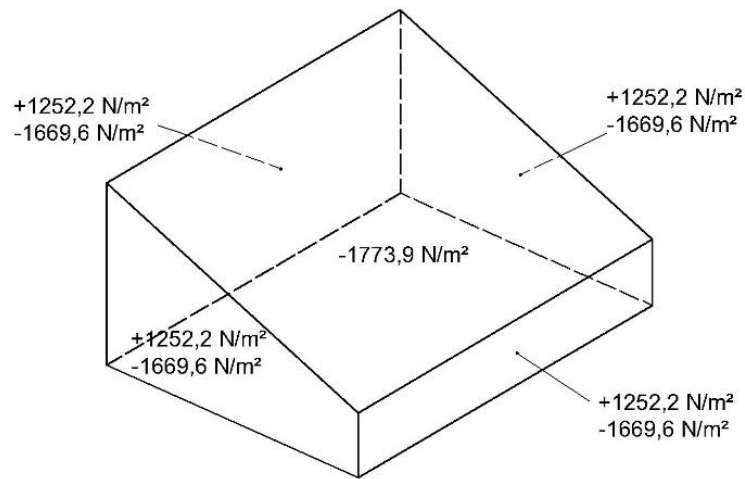
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

### 7.1.7. Componentes y revestimiento, método AGIES

- Velocidad de viento: 120 Km/h = 33,33 m/s.
- Categoría de exposición: D
- Coeficiente de exposición,  $C_e$ : 1,53
- Coeficiente de presión,  $C_q$ 
  - Muros: 1,2 hacia dentro y 1,6 hacia fuera
  - Techo: 1,7 hacia afuera
- Determinar presión de remanso del viento,  $q_s$ : 682 N/m²

- f. Factor de importancia: 1,0
- g. Determinar presión de viento, p
  - Muro:  $(682 \text{ N/m}^2)(1,53)(1,2)(1,0) = 1252,2 \text{ N/m}^2$
  - Muro:  $(682 \text{ N/m}^2)(1,53)(1,6)(1,0) = -1669,6 \text{ N/m}^2$
  - Techo:  $(682 \text{ N/m}^2)(1,53)(1,7)(1,0) = -1773,9 \text{ N/m}^2$

Figura 53. **Presiones de diseño de componentes y revestimiento, ejemplo 1, método AGIES**



**CARGA DE VIENTO AGIES**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

## 7.2. **Análisis de estructura de 40 m por método direccional y método del capítulo cinco**

Para analizar la estructura, componentes y revestimiento de una edificación de media altura, empleando el método direccional y el método del capítulo cinco, se aplican los procedimientos siguientes:

### **7.2.1. Pasos para el método direccional**

- a. Velocidad de viento con base en la figura 8.
- b. Factor de direccionalidad,  $K_d$ , con base en la tabla III.
- c. Categoría de exposición según se describen en el capítulo 2.
- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ , según se describe en el capítulo 2.
- e. Clasificación de cerramiento con base en el tamaño y localización de las aberturas, según se describe en el capítulo 2.
- f. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ , de la tabla I.
- g. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  y  $K_h$ , descritos en la tabla IV.
- h. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ , con la ecuación 3.16.
- i. Coeficiente de presión externa,  $C_p$ .
  - Techos a un agua, dos aguas y muros: figura 13.
  - Domos o cúpulas: figura 14.
  - Techos arqueados: figura 15.
  - $C_N$  techos a dos aguas en estructuras abiertas: figura 16.
  - $C_N$  techo a dos aguas en estructuras abiertos: figura 17.
  - $C_N$  techos arqueados: figuras 18 y 19.
- j. Determinar presión de viento,  $p$ , con base en la ecuación 3.17, 3.18, 3.19 o 3.20, según aplique.

### **7.2.2. Pasos para analizar componentes y revestimiento para estructuras mayores a 18 m**

- a. Velocidad de viento con base en la figura 8.
- b. Factor de direccionalidad,  $K_d$ , con base en la tabla III.
- c. Categoría de exposición según se describen en el capítulo 2.
- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ , según se describe en el capítulo 2.

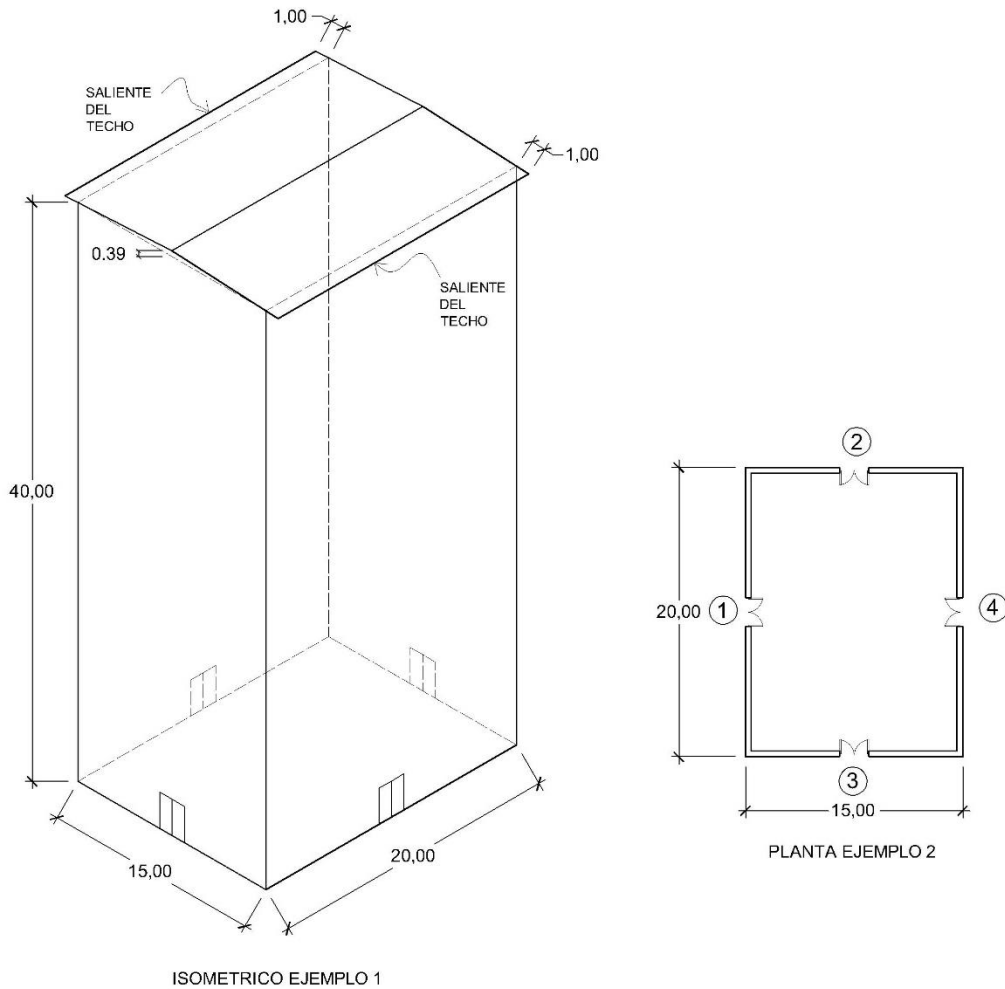
- e. Factor de efecto ráfaga, según se describe en el capítulo 3.
- f. Clasificación de cerramiento con base en el tamaño y localización de las aberturas, según se describe en el capítulo 2.
- g. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ , de la tabla I.
- h. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  y  $K_h$ , descritos en la tabla VII.
- i. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ , con la ecuación 5.3.
- j. Coeficiente de presión externa,  $GC_p$ .
  - Muros y techos a un agua: figura 37.
  - Techos a dos y cuatro aguas: figuras 28, 29 y 30.
  - Techos arqueados: 15.
- k. Determinar presión de viento,  $p$ , con base en la ecuación 5.4.

#### Caso de análisis:

Se presenta el siguiente diseño arquitectónico para una estructura de diez pisos que se planea construir en la zona 14 de la ciudad de Guatemala. El edificio estará cubierto por vidrio en todos sus muros y se colocará una puerta de 2 m x 2,5 m en cada uno de sus lados. Las dimensiones se detallan en la figura 52.



Figura 54. Estructura ejemplo 2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

### 7.2.3. Carga de viento, método direccional

- a. Velocidad de viento: 100 km/h – 27,78 m/s con base en la figura 8.
- b. Factor direccional,  $K_d$ : 0,85
- c. Categoría de exposición: B

- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ : 1 debido a que esta sobre un terreno plano rodeado de edificios.
- e. Factor del efecto ráfaga: 0,85.
- f. Clasificación de cerramiento:

En este caso no es necesario realizar el análisis para una estructura abierta porque las aberturas son menores que el ochenta por ciento del área gruesa.

- Condición 1. El área de las aberturas de una de las caras de la estructura debe de ser mayor al ciento diez por ciento de la suma de las aberturas de las demás caras.

Área aberturas

$$A_{01,2,3,4} = 2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 5 \text{ m}^2$$

Área del resto de las aberturas según cada cara

$$A_{0i1,2,3,4} = 5 \text{ m}^2 + 5 \text{ m}^2 + 5 \text{ m}^2 = 15 \text{ m}^2$$

Cara 1, 2, 3, 4

$$5 \text{ m}^2 > 1,10 \times 15 \text{ m}^2 \text{ No cumple}$$

Debido a que no se cumple la condición 1 en ninguna de las caras, la estructura es cerrada.

- g. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ :  $\pm 0,18$ .

h. Coeficiente de presión de velocidad de exposición:

Ejemplo de cálculo

$$K_{z(40\text{ m})} = \frac{(1,09 - 1,04)}{(42,7 - 36,6)}(40 - 36,6) + 1,04 = 1,068$$

$$K_{h(40,20\text{ m})} = \frac{(1,09 - 1,04)}{(42,7 - 36,6)}(40,20 - 36,6) + 1,04 = 1,07$$

Tabla XIV. **Coeficientes de presión de velocidad de exposición para los diferentes niveles de la estructura, ejemplo 2**

$K_z / K_h$	Altura (m)	Valor
$K_z$	4,00	0,850
$K_z$	8,00	0,671
$K_z$	12,00	0,756
$K_z$	16,00	0,821
$K_z$	20,00	0,874
$K_z$	24,00	0,925
$K_z$	28,00	0,966
$K_z$	32,00	1,002
$K_z$	36,00	1,035
$K_z$	40,00	1,068
$K_z$	40,20	1,070

Fuente: elaboración propia.

i. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ :

Utilizando el coeficiente de presión de velocidad de exposición más crítico para comprobar la presión que se genera.

$$q_h = 0,613(0,85)(1,07)(1)(27,78 \text{ m/s})^2 = 430,26 \text{ N/m}^2$$

j. Coeficiente de presión externa,  $GC_p$

- Muros

Barlovento: 0,8

Sotavento

$$\frac{L}{B} = \frac{2}{1,5} = 1,33$$

$$C_p = \frac{(-0,3 - (-0,5))}{2 - 1} (1,33 - 1) - 0,5 = -0,44$$

Laterales: -0,7

Debido a que no se conoce la dirección del viento, se utilizará el máximo valor positivo y negativo, o sea, 0,8 y -0,7 para calcular todos los muros.

- Techo

Para  $\theta < 10^\circ$

Distancia de 0 a  $h/2$  del borde en barlovento = -1,3, -0,18

Distancia de 0 a  $h/2$  del borde en sotavento = -0,7, -0,18

Área de la mitad del techo = 7,51 m x 20 m = 150,20 m<sup>2</sup>

Utilizando factor de reducción de 0,8 con base en el área del techo, los valores de coeficiente de presión externa para la distancia 0 a  $h/2$  se reducen al valor de: -1,04, -0,18.

Igual que en los muros, se desconoce la dirección del viento para colocar los coeficientes de presión externa exactos, por lo que se utilizan los máximos, en este caso: -1,04, -0,18.

k. Determinar presión de viento, p

$$p = q_{z,h} GC_p - q_{z,h} (GC_{pi})$$

- Muros

$$p_{\text{muros}(+)} = 430,26 \text{ N/m}^2 (0,85)(0,80) - 430,26 \text{ N/m}^2 (-0,18) = 370,03 \text{ N/m}^2$$

$$p_{\text{muros}(-)} = 430,26 \text{ N/m}^2 (0,85)(-0,70) - 430,26 \text{ N/m}^2 (0,18) = -333,45 \text{ N/m}^2$$

La presión mínima en muros es de 770 N/m<sup>2</sup> tanto positiva como negativa. No es necesario calcular la presión para los diferentes niveles del edificio debido a que la presión es menor que la mínima con el Kz más crítico.

- Techo

$$p_{\text{techo}(+)} = 430,26 \text{ N/m}^2 (0,85)(-0,18) - 430,26 \text{ N/m}^2 (-0,18) = 0 \text{ N/m}^2$$

$$p_{\text{techo}(-)} = 430,26 \text{ N/m}^2 (0,85)(-1,04) - 430,26 \text{ N/m}^2 (0,18) = -458,23 \text{ N/m}^2$$

La presión mínima para el techo es de 380 N/m<sup>2</sup> aplicada al área de la proyección vertical del techo.

## Salientes del techo

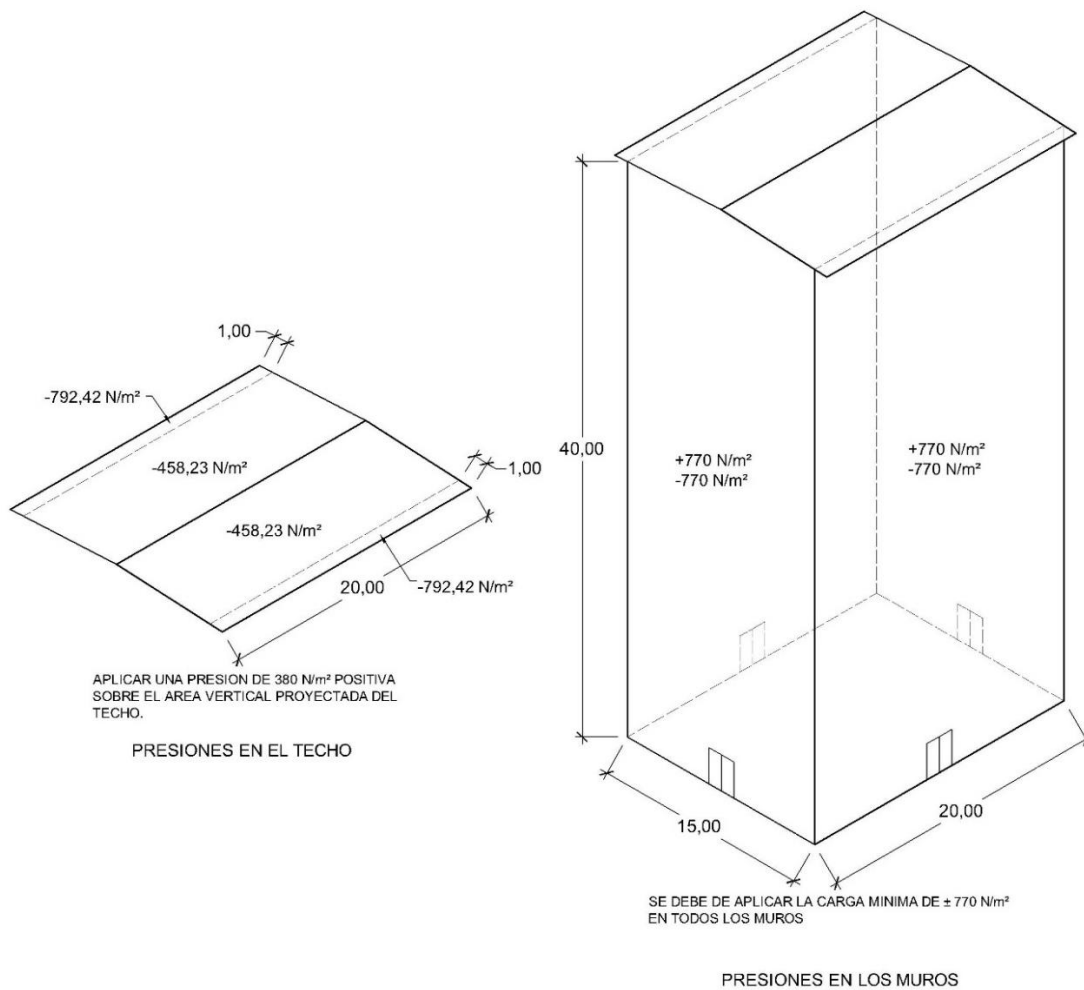
Debido a que las salientes del techo no poseen presión interna, por lo que se debe de combinar la presión que se produce en la parte inferior y superior de la superficie.

Existen dos tipos de presiones en la parte superior del techo, pero debido a que se desconoce la dirección del viento se utilizara la máxima. La presión máxima en las salientes del techo es:

$$P_{\text{saliente del techo(-)}} = 430,66 \text{ N/m}^2 (0,85)(-1,04) - 430,66 \text{ N/m}^2 (0,80)$$

$$P_{\text{saliente del techo(-)}} = -792,42 \text{ N/m}^2$$

Figura 55. **Presiones de viento sobre estructura para el diseño del Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, ejemplo 2**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

#### 7.2.4. Carga de viento sobre los componentes y revestimiento

El cálculo de presión de velocidad para estructuras de alta y media altura se realiza con los datos utilizados para el diseño del Sistema principal de

resistencia de fuerza de viento, con la diferencia del coeficiente de presión de velocidad de exposición, el cual se encuentra en basa a la tabla VII.

$$K_{z(40\text{ m})} = \frac{(1,09 - 1,04)}{(42,6 - 36,6)} (40 - 36,6) + 1,04 = 1,068$$

$$K_{h(40.20\text{ m})} = \frac{(1,09 - 1,04)}{(42,6 - 36,6)} (40,2 - 36,6) + 1,04 = 1,07$$

$$q_{z,h} = 0,613(0,85)(1,07)(1)(27,78\text{ m/s})^2 = 430,26\text{ N/m}^2$$

Con base en la figura 28, los techos con otras geometrías diferentes a las mostradas deben de calcularse sobre la base de las figuras 19, 20 o 21, según aplique.

j. Coeficientes de presión externa

- Techo

$$a_1 = 0,10 \times 15\text{ m} = 1,50\text{ m}$$

$$a_2 = 0,40 \times 40\text{ m} = 16\text{ m}$$

$$a_{\min 1} = 0,04 \times 15\text{ m} = 0,30\text{ m}$$

$$a_{\min 1} = 0,90\text{ m}$$

Usando  $a = 1,50\text{ m}$ .

Utilizando láminas de dos metros de ancho y el largo necesario para utilizar una pieza en cada lado del techo, incluyendo el saliente, se obtienen los coeficientes de presión externa con base en la zonificación en la figura 54.



- El área efectiva del viento es:

$$\text{Largo} = 8,56 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Ancho min} = \frac{8,56}{3} = 2,85 \text{ m}$$

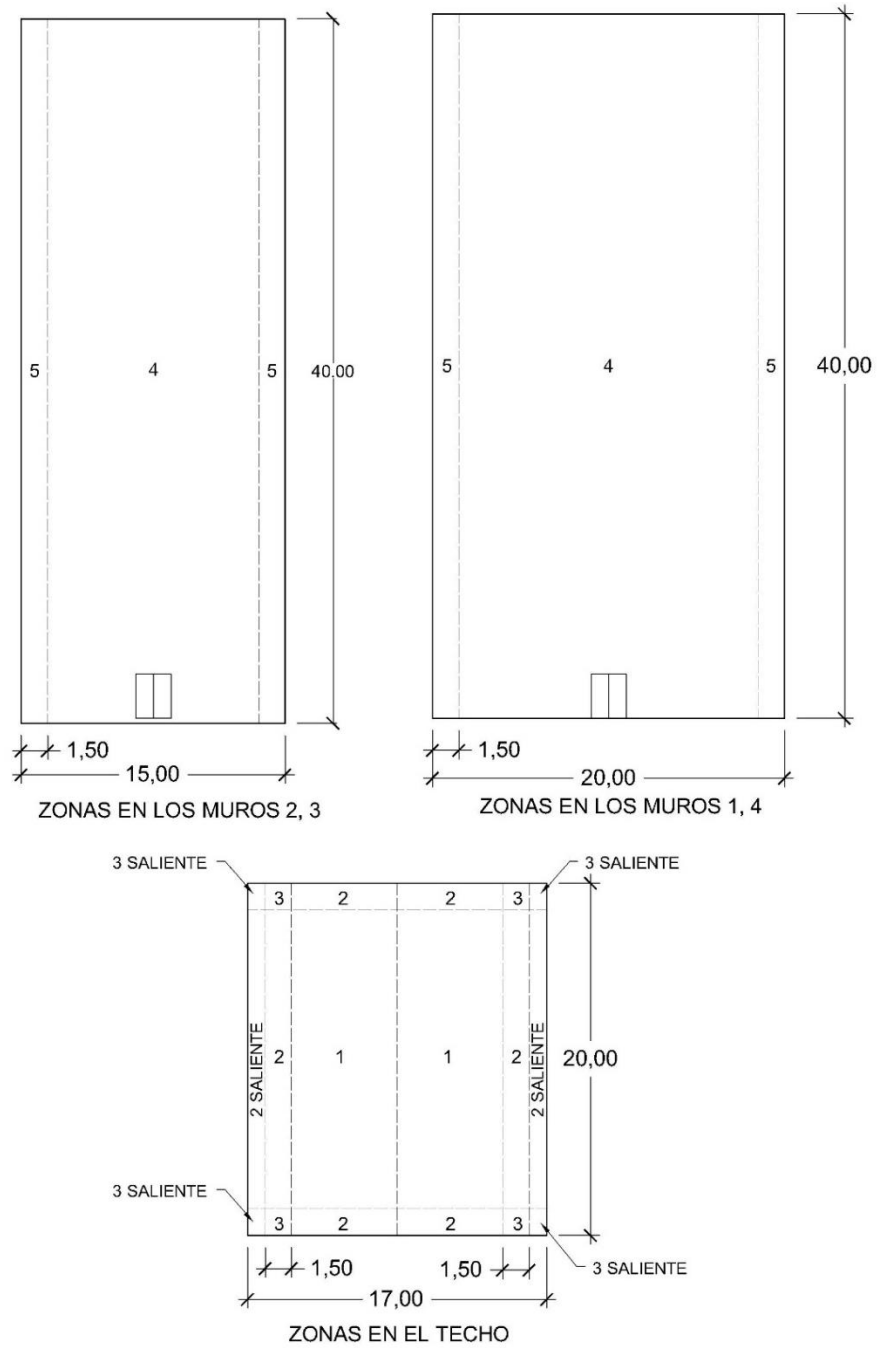
$$\text{Área efectiva del viento} = 7,56 \text{ m} \times 2,85 \text{ m} = 24,42$$

Tabla XV. **Coefficientes de presión externa para revestimiento del techo, ejemplo 2**

Área (m <sup>2</sup> )	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 2 saliente	Zona 3 saliente
24,42	+0,20	+0,20	+0,20	-1,30	-0,80
	-0,90	-1,10	-1,10		

Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Zonificación de presiones de viento sobre la estructura para el diseño del revestimiento, ejemplo 2**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

- Muros

Los coeficientes de presión externa para los muros se obtienen de la figura 28. Suponiendo que se utilizaran vidrios de 2 m x 2 m para recubrir los muros, el área efectiva del viento es la siguiente:

$$\text{Largo}=2 \text{ m}$$

$$\text{Ancho}=2 \text{ m}$$

$$\text{Ancho min}=\frac{2 \text{ m}}{3}=0,67 \text{ m}$$

$$\text{Área efectiva del techo}=2 \text{ m} \times 2 \text{ m}=4 \text{ m}^2$$

Los coeficientes de presión externa se obtienen de la figura 28.

Tabla XVI. **Coeficientes de presión externa para revestimiento en muros, ejemplo 2**

Área (m <sup>2</sup> )	Zona 4	Zona 5
4	+0,82	+0,82
	-0,82	-1,60

Fuente: elaboración propia.

Las presiones finales se obtienen aplicando la ecuación 5.4 y 5.7

$$p_{(+)\text{ zona }1} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(0,2) - (-0,18)] = 163,50 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(-)\text{ zona }1} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(-0,9) - (0,18)] = -464,68 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(+)\text{ zona }2} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(0,2) - (-0,18)] = 163,50 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(-) \text{ zona } 2} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(-1,1) - (0,18)] = -550,74 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(+)\text{ zona } 3} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(0,2) - (-0,18)] = 163,50 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(-)\text{ zona } 3} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(-1,1) - (0,18)] = -550,74 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(+)\text{ zona } 4} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(0,82) - (-0,18)] = 430,26 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(-)\text{ zona } 4} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(-0,82) - (0,18)] = -430,26 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(+)\text{ zona } 5} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(0,82) - (-0,18)] = 430,26 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(-)\text{ zona } 5} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(-1,60) - (0,18)] = -765,86 \text{ N/m}^2$$

La presión mínima en todas las superficies es de 770 N/m<sup>2</sup>, por lo que los valores menores al mínimo deben de ser cambiados.

La presión sobre los aleros del techo depende de su geometría. Si es un alero con sofito, la presión total sobre el techo del alero es el valor máximo de la combinación de signos de la presión externa y la presión interna, utilizando la presión del muro adyacente para diseñar el sofito. Si el alero no posee sofito, no existe presión interna por lo que la presión sobre el alero es el valor máximo de la combinación de la presión externa sobre el techo y la presión que debería de resistir el sofito, o sea, la presión del muro adyacente al alero.

Si se supone un techo con sofito, utilizando planchas de aluminio de 1 x 3 metros para este ejemplo, la presión sobre sus componentes es la siguiente:

Tabla XVII. **Coeficientes de presión externa para revestimiento en salientes del techo, ejemplo 2**

<b>GC<sub>pf</sub> Salientes del techo</b>			
<b>Área m<sup>2</sup></b>	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>
3	-1,65	-1,65	-1,8

Fuente: elaboración propia.

$$p_{(+)} \text{ zona 1 saliente} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(-1,65) - (0,18)] = -787,38 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(-)} \text{ zona 2} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(-1,65) - (0,18)] = -787,38 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(+)} \text{ zona 3} = 430,26 \text{ N/m}^2 [(-1,8) - (0,18)] = -851,92 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(-)} \text{ Sofito adyacente a zona 4} = 430,26 \text{ N/m}^2, -430,26 \text{ N/m}^2$$

$$p_{(-)} \text{ Sofito adyacente a zona 5} = 430,26 \text{ N/m}^2, -765,86 \text{ N/m}^2$$

La presión mínima en todas las superficies es de 770 N/m<sup>2</sup>, por lo que los valores menores al mínimo deben de ser cambiados.

Igual que en el análisis de las cargas de viento sobre el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, no es necesario calcular K<sub>z</sub> para cada nivel de la estructura ya que el valor más crítico no presenta cargas de viento mayores a las mínimas.



### 7.3. Análisis de estructura de 120 m por el método direccional y método del capítulo cinco

El método direccional es el único método propuesto por ASCE para analizar cargas de viento en estructuras de alta altura. El procedimiento para el análisis es el siguiente:

#### 7.3.1. Pasos para el método direccional

- a. Velocidad de viento con base en la figura 8.
- b. Factor de direccionalidad,  $K_d$ , con base en la tabla III.
- c. Categoría de exposición según se describen en el capítulo 2.
- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ , según se describe en el capítulo 2.
- e. Clasificación de cerramiento en base al tamaño y localización de las aberturas, según se describe en el capítulo 2.
- f. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ , de la tabla I.
- g. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  y  $K_h$ , descritos en la tabla IV.
- h. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ , con la ecuación 3.16.
- i. Coeficiente de presión externa,  $C_p$ .
  - Techos a un agua, dos aguas y muros: figura 13.
  - Domos o cúpulas: figura 14.
  - Techos arqueados: figura 15.
  - $C_N$  techos a dos aguas en estructuras abiertas: figura 16.
  - $C_N$  techo a dos aguas en estructuras abiertos: figura 17.
  - $C_N$  techos arqueados: figuras 18 y 19.
- j. Determinar presión de viento,  $p$ , con base en la ecuación 3.17, 3.18, 3.19 o 3.20, según aplique.

### 7.3.2. Pasos para analizar componentes y revestimiento en estructuras mayores a 18 m

- a. Velocidad de viento con base en la figura 8.
- b. Factor de direccionalidad,  $K_d$ , con base en la tabla III.
- c. Categoría de exposición según se describen en el capítulo 2.
- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ , según se describe en el capítulo 2.
- e. Factor de efecto ráfaga, según se describe en el capítulo 3.
- f. Clasificación de cerramiento con base en el tamaño y localización de las aberturas, según se describe en el capítulo 2.
- g. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ , de la tabla I.
- h. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  y  $K_h$ , descritos en la tabla VII.
- i. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ , con la ecuación 5.3.
- j. Coeficiente de presión externa,  $GC_p$ .
  - Muros y techos a un agua: figura 37.
  - Techos a dos y cuatro aguas: figuras 28, 29 y 30.
  - Techos arqueados: 15.
- k. Determinar presión de viento,  $p$ , con base en la ecuación 5.4.

#### Caso de análisis

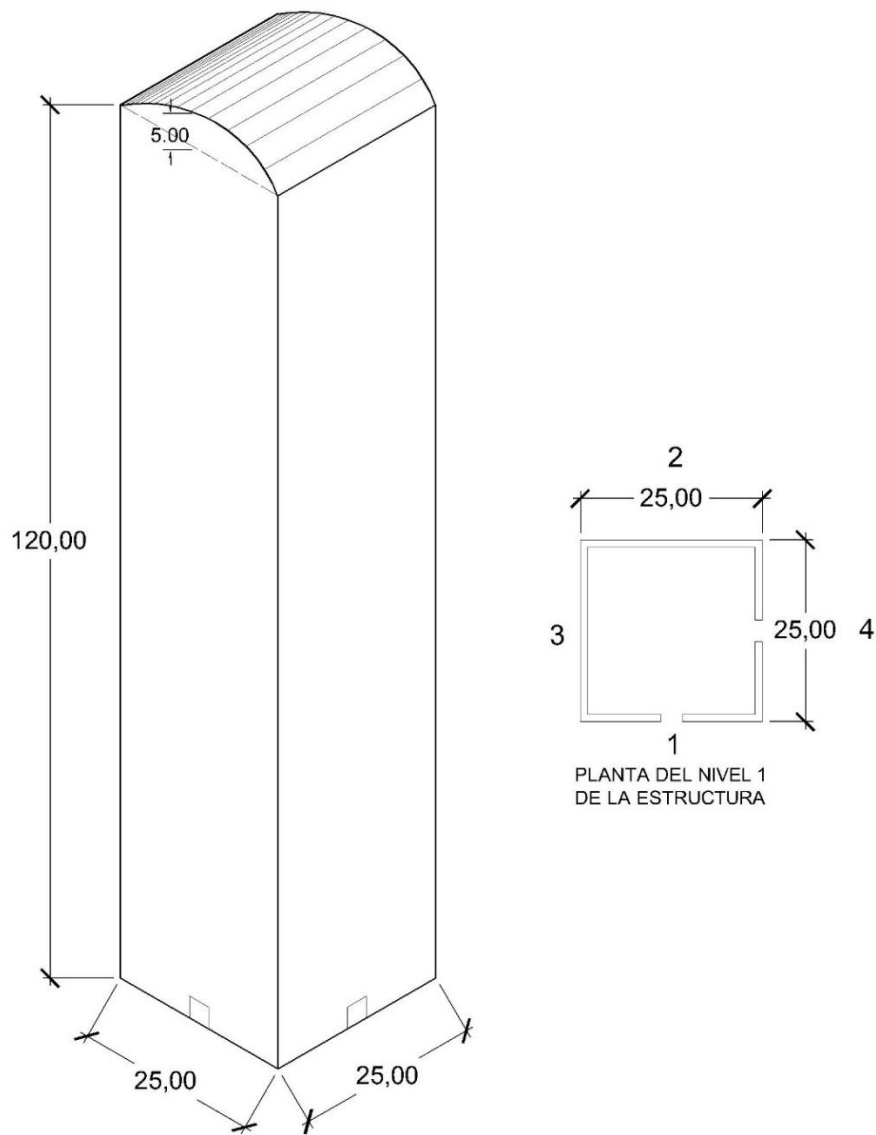
Se presenta el siguiente diseño arquitectónico para una estructura que se pretende construir en Escuintla, lejos de la costa. No existen edificios altos ni accidentes topográficos que varíen la velocidad o dirección del viento.

Los muros del edificio estarán cubiertos con vidrio de 1 m x 1 m en y poseerá dos entradas de 3 m x 3 m en diferente lado de la estructura.



La metodología para el análisis de esta estructura es la misma que la utilizada en el ejemplo anterior.

Figura 58. Estructura ejemplo 3



ESTRUCTURA EJEMPLO 3

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

### 7.3.3. Sistema Principal de resistencia de fuerza de viento, método direccional

- a. Velocidad de viento: 110 km/h – 30,56 m/s con base en la figura 8.
- b. Factor direccional,  $K_d$ : 0,85
- c. Categoría de exposición: C
- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ : 1 debido a que esta sobre un terreno plano.
- e. Factor del efecto ráfaga: 0,85
- f. Clasificación de cerramiento:

En este caso no es necesario realizar el análisis para una estructura abierta porque las aberturas son menores que el ochenta por ciento del área gruesa.

- Condición 1. El área de las aberturas de una de las caras de la estructura debe de ser mayor al ciento diez por ciento de la suma de las aberturas de las demás caras.

Área aberturas

$$A_{01,4} = 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 9 \text{ m}^2$$

$$A_{02,3} = 0 \text{ m}^2$$

Área del resto de las aberturas, según cada cara

$$A_{0i1,4} = 9 \text{ m}^2 = 9 \text{ m}^2$$

$$A_{0i2,3} = 9 \text{ m}^2 + 9 \text{ m}^2 = 18 \text{ m}^2$$

Cara 1, 4

$$9 \text{ m}^2 > 1,10 \times 9 \text{ m}^2 = 9,9 \text{ m}^2 \text{ No cumple}$$

Cara 2, 3

$$0 \text{ m}^2 > 1,10 \times 18 \text{ m}^2 = 19,8 \text{ m}^2 \text{ No cumple}$$

Debido a que no se cumple la condición 1 en ninguna de las caras, la estructura es cerrada.

- g. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ :  $\pm 0,18$ .
- h. Coeficiente de presión de velocidad de exposición:

$$K_{z(120 \text{ m})} = 1,31$$

$$K_{h(122,5 \text{ m})} = \frac{(1,36 - 1,31)}{(140 - 120)} (122,5 - 120) + 1,31 = 1,316$$

Debido a que los coeficientes son similares, se utilizara 1,316 para el cálculo de la presión de viento de muros y techo.

- i. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ :

$$q_{z,h} = 0,613(0,85)(1,316)(1)(30,56 \text{ m/s})^2 = 640,39 \text{ N/m}^2$$

- j. Coeficiente de presión externa,  $GC_p$ :

Basado en la figura 15, los coeficientes de presión externa para el techo son:

$$r = \frac{5 \text{ m}}{25 \text{ m}} = 0,2$$

Tabla XVIII. **Coeficientes de presión externa en techo, ejemplo 3**

<b>C<sub>p</sub> techo</b>		
<b>Área</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valores</b>
Cuarto en barlovento	1,5r-0,3 / 6r-2,1	0/-0,9
Mitad central	-0,7-r	-0,5
Cuarto en sotavento	-0,5	-0,5

Fuente: elaboración propia.

Los coeficientes de presión externa para los muros se basan en la figura 13.

$$\frac{L}{B} = \frac{25 \text{ m}}{25 \text{ m}} = 1$$

Tabla XIX. **Coeficientes de presión externa en muros, ejemplo 3**

<b>C<sub>p</sub> muros</b>	
<b>Área</b>	<b>Fórmula</b>
Muro en barlovento	0,8
Muro en sotavento	-0,5
Muros laterales	-0,7

Fuente: elaboración propia.

Debido a que se desconoce la dirección exacta del viento, se utilizara el coeficiente máxima positivo y negativo para analizar los muros.

k. Determinar presión de viento,  $p$

$$p = q_{z,h} GC_p - q_{z,h} (GC_{pi})$$

- Muros

$$p_{\text{muros}(+)} = 640,39 \text{ N/m}^2 (0,85)(0,80) - 640,39 \text{ N/m}^2 (-0,18) = 550,74 \text{ N/m}^2$$

$$p_{\text{muros}(-)} = 640,39 \text{ N/m}^2 (0,85)(-0,7) - 640,39 \text{ N/m}^2 (0,18) = -496,31 \text{ N/m}^2$$

La presión mínima en muros es de 770 N/m<sup>2</sup> tanto positiva como negativa. Debido a que el coeficiente de presión de velocidad de exposición más crítico no produce una presión mayor a la mínima, no es necesario calcular las presiones en los diferentes niveles de la estructura, simplemente colocar la presión mínima.

- Techo

$$p_{\text{cuarto en barlovento/sotavento}} = 640,39 \text{ N/m}^2 (0,85)(-0,9) - 640,39 \text{ N/m}^2 (0,18)$$

$$p_{\text{cuarto en barlovento/sotavento}} = -605,17 \text{ N/m}^2$$

$$p_{\text{mitad central}(-)} = 640,39 \text{ N/m}^2 (0,85)(-0,5) - 640,39 \text{ N/m}^2 (0,18)$$

$$p_{\text{mitad central}(-)} = -387,44 \text{ N/m}^2$$

La presión mínima para el techo es de 380 N/m<sup>2</sup> aplicada al área de la proyección vertical del techo.

### 7.3.4. Componentes y revestimiento para la estructura

El cálculo de presión de velocidad para de estructuras de alta y media altura se realiza con los datos utilizados para el diseño del Sistema principal de resistencia de fuerza de viento con la diferencia del coeficiente de presión de velocidad de exposición, el cual se encuentra en basa a la tabla VII.

Tabla XX. **Presión de velocidad en los diferentes niveles de la estructura, ejemplo 3**

Nivel	Elevación (m)	$K_{z,h}$	$q$
1	3,0	0,85	425,09 N/m <sup>2</sup>
2	6,0	0,90	448,60 N/m <sup>2</sup>
3	9,0	0,98	488,61 N/m <sup>2</sup>
4	12,0	1,04	518,11 N/m <sup>2</sup>
5	15,0	1,09	543,62 N/m <sup>2</sup>
6	18,0	1,13	565,13 N/m <sup>2</sup>
7	21,0	1,17	583,13 N/m <sup>2</sup>
8	24,0	1,21	602,63 N/m <sup>2</sup>
9	27,0	1,24	618,14 N/m <sup>2</sup>
10	30,0	1,26	628,64 N/m <sup>2</sup>
11	33,0	1,28	640,14 N/m <sup>2</sup>
12	36,0	1,31	652,64 N/m <sup>2</sup>
13	39,0	1,33	665,15 N/m <sup>2</sup>
14	42,0	1,35	677,15 N/m <sup>2</sup>
15	45,0	1,37	685,65 N/m <sup>2</sup>
16	48,0	1,39	693,15 N/m <sup>2</sup>
17	51,0	1,40	702,16 N/m <sup>2</sup>
18	54,0	1,42	712,16 N/m <sup>2</sup>
19	57,0	1,44	720,16 N/m <sup>2</sup>
20	60,0	1,46	727,66 N/m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Presión de velocidad en los diferentes niveles de la estructura, continuación ejemplo 3**

Nivel	Elevación (m)	$K_{z,h}$	$q$
21	63,0	1,47	734,66 N/m <sup>2</sup>
22	66,0	1,48	741,66 N/m <sup>2</sup>
23	69,0	1,50	748,67 N/m <sup>2</sup>
24	72,0	1,51	755,67 N/m <sup>2</sup>
25	75,0	1,52	762,17 N/m <sup>2</sup>
26	78,0	1,54	768,67 N/m <sup>2</sup>
27	81,0	1,55	774,67 N/m <sup>2</sup>
28	84,0	1,56	780,67 N/m <sup>2</sup>
29	87,0	1,57	786,67 N/m <sup>2</sup>
30	90,0	1,58	792,18 N/m <sup>2</sup>
31	93,0	1,60	797,68 N/m <sup>2</sup>
32	96,0	1,61	802,68 N/m <sup>2</sup>
33	99,0	1,62	807,68 N/m <sup>2</sup>
34	102,0	1,63	812,68 N/m <sup>2</sup>
35	105,0	1,63	817,18 N/m <sup>2</sup>
36	108,0	1,64	822,18 N/m <sup>2</sup>
37	111,0	1,65	827,18 N/m <sup>2</sup>
38	114,0	1,66	832,18 N/m <sup>2</sup>
39	117,0	1,67	837,19 N/m <sup>2</sup>
40	120,0	1,68	842,19 N/m <sup>2</sup>
Techo	122,5	1,69	846,19 N/m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

Para el techo se utilizarán piezas de revestimiento de un metro de ancho, longitud de la curvatura de su arco, por una longitud de cinco metros.

El área efectiva del viento para el revestimiento del techo es:

Largo=5 m

Ancho=1 m

$$\text{Ancho min} = \frac{5 \text{ m}}{3} = 1,67 \text{ m}$$

$$\text{Área efectiva del viento} = 5 \text{ m} \times 1,67 \text{ m} = 8,34 \text{ m}^2$$

Tabla XXII. **Coefficientes de presión externa para revestimiento en el techo, ejemplo 3**

<b>C<sub>p</sub> techo</b>		
<b>Área</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Valores</b>
Cuarto en barlovento	$1,5r - 0,3 / 6r - 2,1$	$0 / -0,9 \times 0,87 = -0,783$
Mitad central	$-0,7 - r$	$-0,5 \times 0,87 = -0,435$
Cuarto en sotavento	$-0,5$	$-0,5 \times 0,87 = -0,435$

Fuente: elaboración propia.

- Muros IJ L

Para los muros se utilizarán vidrios de un metro por un metro, por lo tanto, su área efectiva es la siguiente:

$$\text{Largo} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Ancho min} = \frac{1 \text{ m}}{3} = 0,33 \text{ m}$$

$$\text{Área efectiva del viento} = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ m}^2$$



Tabla XXIII. **Coeficientes de presión externa para revestimiento en los muros, ejemplo 3**

Zona del muro	Área (m <sup>2</sup> )	Coeficiente
4	1	0,9 -0,9
5	1	0,9 -1,8

Fuente: elaboración propia.

Las presiones sobre la estructura son las siguientes:

- Techo

$$P_{\text{barlovento}} = 846,19 \text{ N/m}^2 (0,85)(-0,783) \pm 846,19 \text{ N/m}^2 (0,18)$$

$$P_{\text{barlovento}} = - 715,50 \text{ N/m}^2, -410,87 \text{ N/m}^2$$

$$P_{\text{central}} = 846,19 \text{ N/m}^2 (0,85)(-0,435) \pm 846,19 \text{ N/m}^2 (0,18)$$

$$P_{\text{central}} = - 465,20 \text{ N/m}^2, -160,57 \text{ N/m}^2$$

$$P_{\text{sotavento}} = 846,19 \text{ N/m}^2 (0,85)(-0,435) \pm 846,19 \text{ N/m}^2 (0,18)$$

$$P_{\text{barlovento}} = - 465,20 \text{ N/m}^2, -160,57 \text{ N/m}^2$$

- Presiones en revestimiento de muros en zona 4

Tabla XXIV. **Presión de viento para diseño de revestimiento de muros en zona 4, ejemplo 3**

Elevación (m)	q (N/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub> (+) zona 4	p (+) zona 4 (N/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub> (-) zona 4	p (-) zona 4 (N/m <sup>2</sup> )
3	425,09	0,90	401,71	-0,90	-401,71
6	448,60	0,90	423,93	-0,90	-423,93
9	488,61	0,90	461,73	-0,90	-461,73
12	518,11	0,90	489,62	-0,90	-489,62
15	543,62	0,90	513,72	-0,90	-513,72
18	565,13	0,90	534,04	-0,90	-534,04
21	583,13	0,90	551,06	-0,90	-551,06
24	602,63	0,90	569,49	-0,90	-569,49
27	618,14	0,90	584,14	-0,90	-584,14
30	628,64	0,90	594,06	-0,90	-594,06
33	640,14	0,90	604,93	-0,90	-604,93
36	652,64	0,90	616,75	-0,90	-616,75
39	665,15	0,90	628,56	-0,90	-628,56
42	677,15	0,90	639,91	-0,90	-639,91
45	685,65	0,90	647,94	-0,90	-647,94
48	693,15	0,90	655,03	-0,90	-655,03
51	702,16	0,90	663,54	-0,90	-663,54
54	712,16	0,90	672,99	-0,90	-672,99
57	720,16	0,90	680,55	-0,90	-680,55
60	727,66	0,90	687,64	-0,90	-687,64
63	734,66	0,90	694,26	-0,90	-694,26
66	741,66	0,90	700,87	-0,90	-700,87
69	748,67	0,90	707,49	-0,90	-707,49
72	755,67	0,90	714,11	-0,90	-714,11
75	762,17	0,90	720,25	-0,90	-720,25
78	768,67	0,90	726,39	-0,90	-726,39
81	774,67	0,90	732,06	-0,90	-732,06

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Presión de viento para diseño de revestimiento de muros en zona 4, ejemplo 3. Continuación tabla XXI**

Elevación (m)	q (N/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub> (+) zona 4	p (+) zona 4 (N/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub> (-) zona 4	p (-) zona 4 (N/m <sup>2</sup> )
84	780,67	0,90	737,74	-0,90	-737,74
87	786,67	0,90	743,41	-0,90	-743,41
90	792,18	0,90	748,61	-0,90	-748,61
93	797,68	0,90	753,80	-0,90	-753,80
96	802,68	0,90	758,53	-0,90	-758,53
99	807,68	0,90	763,26	-0,90	-763,26
102	812,68	0,90	767,98	-0,90	-767,98
105	817,18	0,90	772,24	-0,90	-772,24
108	822,18	0,90	776,96	-0,90	-776,96
111	827,18	0,90	781,69	-0,90	-781,69
114	832,18	0,90	786,41	-0,90	-786,41
117	837,19	0,90	791,14	-0,90	-791,14
120	842,19	0,90	795,87	-0,90	-795,87

Fuente: elaboración propia.

- Presiones en revestimiento de muros en zona 5

Tabla XXVI. **Presión de viento para diseño de revestimiento de muros en zona 5, ejemplo 3**

Elevación (m)	q (N/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub> (+) zona 5	p (+) zona 5 (N/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub> (-) zona 5	p (-) zona 5 (N/m <sup>2</sup> )
3	425,09	0,90	401,71	-0,90	-401,71
6	448,60	0,90	423,93	-0,90	-423,93
9	488,61	0,90	461,73	-0,90	-461,73
12	518,11	0,90	489,62	-0,90	-489,62
15	543,62	0,90	513,72	-0,90	-513,72
18	565,13	0,90	534,04	-0,90	-534,04
21	583,13	0,90	551,06	-0,90	-551,06
24	602,63	0,90	569,49	-0,90	-569,49
27	618,14	0,90	584,14	-0,90	-584,14
30	628,64	0,90	594,06	-0,90	-594,06
33	640,14	0,90	604,93	-0,90	-604,93
36	652,64	0,90	616,75	-0,90	-616,75
39	665,15	0,90	628,56	-0,90	-628,56
42	677,15	0,90	639,91	-0,90	-639,91
45	685,65	0,90	647,94	-0,90	-647,94
48	693,15	0,90	655,03	-0,90	-655,03
51	702,16	0,90	663,54	-0,90	-663,54
54	712,16	0,90	672,99	-0,90	-672,99
57	720,16	0,90	680,55	-0,90	-680,55
60	727,66	0,90	687,64	-0,90	-687,64
63	734,66	0,90	694,26	-0,90	-694,26
66	741,66	0,90	700,87	-0,90	-700,87
69	748,67	0,90	707,49	-0,90	-707,49
72	755,67	0,90	714,11	-0,90	-714,11
75	762,17	0,90	720,25	-0,90	-720,25
78	768,67	0,90	726,39	-0,90	-726,39
81	774,67	0,90	732,06	-0,90	-732,06

Fuente: elaboración propia.

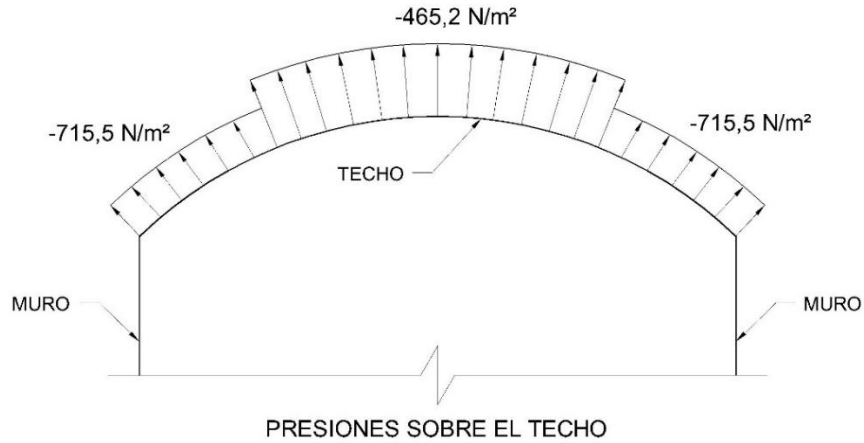
Tabla XXVII. **Presión de viento para diseño de revestimiento de muros en zona 5, ejemplo 3. Continuación tabla XXVI**

<b>Elevación (m)</b>	<b>q (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>C<sub>p</sub> (+) zona 5</b>	<b>p (+) zona 5 (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>C<sub>p</sub> (-) zona 5</b>	<b>p (-) zona 5 (N/m<sup>2</sup>)</b>
84	780,67	0,90	737,74	-0,90	-737,74
87	786,67	0,90	743,41	-0,90	-743,41
90	792,18	0,90	748,61	-1,80	-1 354,62
93	797,68	0,90	753,80	-1,80	-1 364,03
96	802,68	0,90	758,53	-1,80	-1 372,58
99	807,68	0,90	763,26	-1,80	-1 381,13
102	812,68	0,90	767,98	-1,80	-1 389,68
105	817,18	0,90	772,24	-1,80	-1 397,38
108	822,18	0,90	776,96	-1,80	-1 405,93
111	827,18	0,90	781,69	-1,80	-1 414,48
114	832,18	0,90	786,41	-1,80	-1 423,04
117	837,19	0,90	791,14	-1,80	-1 431,59
120	842,19	0,90	795,87	-1,80	-1 440,14

Fuente: elaboración propia.

- Presiones finales

Figura 59. **Presiones de viento sobre techo curvo para el diseño de revestimiento, ejemplo 3**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Tabla XXVIII. **Presión de viento finales para diseño de revestimiento de muros en zona 4 y 5, ejemplo 3**

Nivel	Elevación (m)	P (+) zona 4 (N/m <sup>2</sup> )	P (-) zona 4 (N/m <sup>2</sup> )	p (+) zona 5 (N/m <sup>2</sup> )	p (-) zona 5 (N/m <sup>2</sup> )
1	3	770,00	-770,00	770,00	-770,00
2	6	770,00	-770,00	770,00	-770,00
3	9	770,00	-770,00	770,00	-835,52
4	12	770,00	-770,00	770,00	-885,98
5	15	770,00	-770,00	770,00	-929,59
6	18	770,00	-770,00	770,00	-966,36
7	21	770,00	-770,00	770,00	-997,15
8	24	770,00	-770,00	770,00	-1 030,50
9	27	770,00	-770,00	770,00	-1 057,01
10	30	770,00	-770,00	770,00	-1 074,97

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. **Presión de viento finales para diseño de revestimiento de muros en zona 4 y 5, ejemplo 3. Continuación de tabla XXVIII**

Nivel	Elevación (m)	p (+) zona 4 (N/m <sup>2</sup> )	p (-) zona 4 (N/m <sup>2</sup> )	p (+) zona 5 (N/m <sup>2</sup> )	p (-) zona 5 (N/m <sup>2</sup> )
11	33	770,00	-770,00	770,00	-1 094,64
12	36	770,00	-770,00	770,00	-1 116,02
13	39	770,00	-770,00	770,00	-1 137,40
14	42	770,00	-770,00	770,00	-1 157,93
15	45	770,00	-770,00	770,00	-1 172,46
16	48	770,00	-770,00	770,00	-1 185,29
17	51	770,00	-770,00	770,00	-1 200,69
18	54	770,00	-770,00	770,00	-1 217,79
19	57	770,00	-770,00	770,00	-1 231,47
20	60	770,00	-770,00	770,00	-1 244,30
21	63	770,00	-770,00	770,00	-1 256,27
22	66	770,00	-770,00	770,00	-1 268,25
23	69	770,00	-770,00	770,00	-1 280,22
24	72	770,00	-770,00	770,00	-1 292,19
25	75	770,00	-770,00	770,00	-1 303,31
26	78	770,00	-770,00	770,00	-1 314,43
27	81	770,00	-770,00	770,00	-1 324,69
28	84	770,00	-770,00	770,00	-1 334,95
29	87	770,00	-770,00	770,00	-1 345,21
30	90	770,00	-770,00	770,00	-1 354,62
31	93	770,00	-770,00	770,00	-1 364,03
32	96	770,00	-770,00	770,00	-1 372,58
33	99	770,00	-770,00	770,00	-1 381,13
34	102	770,00	-770,00	770,00	-1 389,68
35	105	772,24	-772,24	772,24	-1 397,38
36	108	776,96	-776,96	776,96	-1 405,93
37	111	781,69	-781,69	781,69	-1 414,48
38	114	786,41	-786,41	786,41	-1 423,04
39	117	791,14	-791,14	791,14	-1 431,59
40	120	795,87	-795,87	795,87	-1 440,14

Fuente: elaboración propia.

## **7.4. Análisis de estructura abierta por el método direccional y el método del capítulo cinco**

### Caso de análisis

La geometría de la siguiente estructura abierta se construirá en el área costera del pacífico. La estructura acero es una bodega abierta sin edificios cercanos alrededor.

#### **7.4.1. Pasos para el método direccional**

- a. Velocidad de viento con base en la figura 8.
- b. Factor de direccionalidad,  $K_d$ , con base en la tabla III.
- c. Categoría de exposición según se describen en el capítulo 2.
- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ , según se describe en el capítulo 2.
- e. Clasificación de cerramiento con base en el tamaño y localización de las aberturas, según se describe en el capítulo 2.
- f. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ , de la tabla I.
- g. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  y  $K_h$ , descritos en la tabla IV.
- h. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ , con la ecuación 3.16.
- i. Coeficiente de presión externa,  $C_p$ .

Techos a un agua, dos aguas y muros: figura 13.

Domos o cúpulas: figura 14.

Techos arqueados: figura 15.

$C_N$  techos a dos aguas en estructuras abiertas: figura 16.

$C_N$  techo a dos aguas en estructuras abiertos: figura 17.

$C_N$  techos arqueados: figuras 18 y 19.

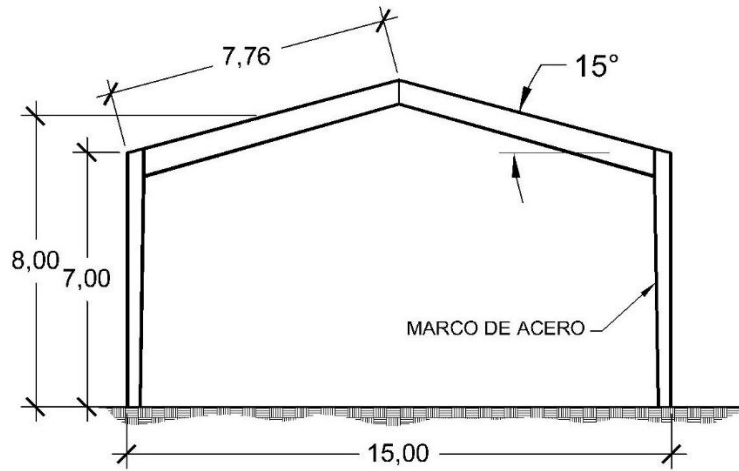


- j. Determinar presión de viento,  $p$ , con base en la ecuación 3.17, 3.18, 3.19 o 3.20, según aplique.

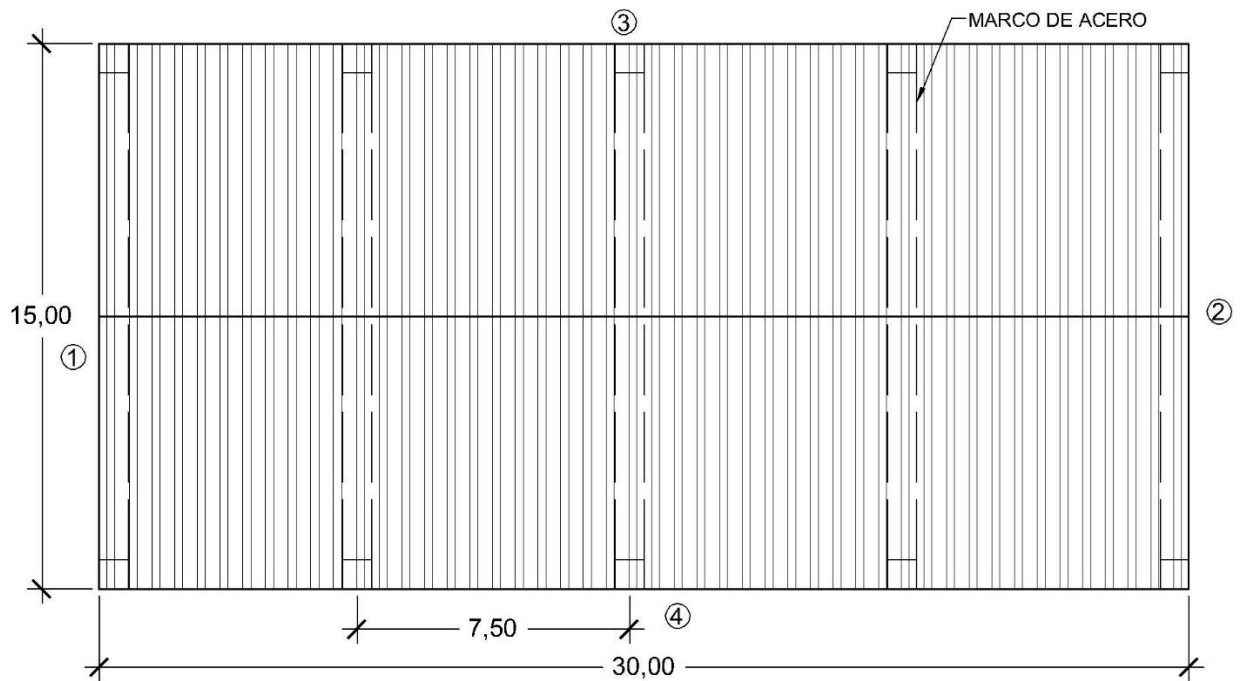
**7.4.2. Pasos para analizar componentes y revestimiento para estructuras mayores a 18 m**

- a. Velocidad de viento con base en la figura 8.
- b. Factor de direccionalidad,  $K_d$ , con base en la tabla III.
- c. Categoría de exposición según se describen en el capítulo 2.
- d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ , según se describe en el capítulo 2.
- e. Factor de efecto ráfaga, según se describe en el capítulo 3.
- f. Clasificación de cerramiento con base en el tamaño y localización de las aberturas, según se describe en el capítulo 2.
- g. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ , de la tabla I.
- h. Coeficiente de presión de velocidad de exposición,  $K_z$  y  $K_h$ , descritos en la tabla VII.
- i. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$ , con la ecuación 5.3.
- j. Coeficiente de presión externa,  $GC_p$ .
  - Muros y techos a un agua: figura 37.
  - Techos a dos y cuatro aguas: figuras 28, 29 y 30.
  - Techos arqueados: 15.
- k. Determinar presión de viento,  $p$ , con base en la ecuación 5.4.

Figura 60. Estructura ejemplo 4



ELEVACIÓN BODEGA CARA 1 Y 2



PLANTA BODEGA

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

### 7.4.3. Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, método direccional

- a. Velocidad de viento: 110 km/h – 30,56 m/s con base en la figura 8.
  - b. Factor direccional,  $K_d$ : 0,85
  - c. Categoría de exposición: D
  - d. Factor topográfico,  $K_{zt}$ : 1 debido a que esta sobre un terreno plano.
  - e. Factor del efecto ráfaga: 0,85
  - f. Clasificación de cerramiento:
- Condición. El área de las aberturas de cada cara de la estructura debe ser mayor al ochenta por ciento del área gruesa de cada cara.

Área aberturas, suponiendo un ancho de cincuenta centímetros para cada elemento de acero.

$$A_{g\ 1,2} = 15\text{ m} \times 7\text{ m} + \frac{2\text{ m} \times 15\text{ m}}{2} - (7,77\text{ m} + 7,77\text{ m} + 7\text{ m} + 7\text{ m}) \times 0,5\text{ m}$$
$$A_{g\ 1,2} = 105,23\text{ m}^2$$

$$A_{g\ 3,4} = 30\text{ m} \times 7\text{ m} - (30\text{ m} + 7\text{ m} \times 5) \times 0,5\text{ m} = 177,5\text{ m}^2$$

Área gruesa

$$A_{o\ 1,2} = 15\text{ m} \times 7\text{ m} + \frac{2\text{ m} \times 15\text{ m}}{2} = 120\text{ m}^2$$

$$A_{o\ 3,4} = 30\text{ m} \times 7\text{ m} = 210\text{ m}^2$$

Cara 1, 2

$$\frac{105,3 \text{ m}^2}{120 \text{ m}^2} = 0,877 > 0,80 \quad \text{No cumple}$$

Cara 3, 4

$$\frac{177,5 \text{ m}^2}{210 \text{ m}^2} = 0,845 > 0,80 \quad \text{No cumple}$$

La estructura es abierta debido a que todas las caras de la estructura poseen aberturas mayores al ochenta por ciento del área gruesa de cada una de sus caras.

- g. Coeficiente de presión interna,  $GC_{pi}$ : 0.00.
- h. Coeficiente de presión de velocidad de exposición

$$K_{h(7 \text{ m})} = \frac{(1,12 - 1,08)}{(7,6 - 6,1)} (7 - 6,1) + 1,08 = 1,104$$

$$K_{h(8 \text{ m})} = \frac{(1,16 - 1,12)}{(9,1 - 7,6)} (8 - 7,6) + 1,12 = 1,131$$

- i. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$

$$q_z = 0,613(0,85)(1,104)(1)(30,56 \text{ m/s})^2 = 537,23 \text{ N/m}^2$$

$$q_h = 0,613(0,85)(1,131)(1)(30,56 \text{ m/s})^2 = 550,37 \text{ N/m}^2$$

- j. Coeficiente de presión neta,  $C_N$

Basado en la figura 17, los coeficientes de presión neta para el techo son:

Tabla XXX. **Coeficiente de presión neta sobre el techo con  $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$ , ejemplo 4**

Ángulo del techo, $\theta$	Caso de carga	Dirección del viento, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$			
		Flujo del viento libre		Flujo del viento obstaculizado	
		$C_{NW}$	$C_{NL}$	$C_{NW}$	$C_{NL}$
15°	A	1,1	-0,4	-1,2	-1,0
	B	0,1	-1,1	-0,6	-1,6

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Coeficiente de presión neta sobre el techo con  $\gamma = 90^\circ, 270^\circ$ , ejemplo 4**

Dirección del viento, $\gamma = 90^\circ, 270^\circ$				
Distancia horizontal desde borde en barlovento	Ángulo del techo	Caso de carga	Flujo libre del viento	Flujo obstruido del viento
			CN	CN
$\leq h$	Todas las formas	A	-0,8	-1,2
	$\theta \leq 45^\circ$	B	0,8	0,5
$>h, \leq 2h$	Todas las formas	A	-0,6	-0,9
	$\theta \leq 45^\circ$	B	0,5	0,5
$> 2h$	Todas las formas	A	-0,3	-0,6
	$\theta \leq 45^\circ$	B	0,3	0,3

Fuente: elaboración propia.

Debido a que se desconoce la dirección del viento, se utilizarán el máximo coeficiente positivo y negativo para el techo en barlovento y sotavento. La bodega estará, tanto vacía como llena, por lo que se presentan los dos tipos de flujo propuestos. Los máximos coeficientes netos son: 1,1 y -1,6.

k. Determinar presión de viento,  $p$

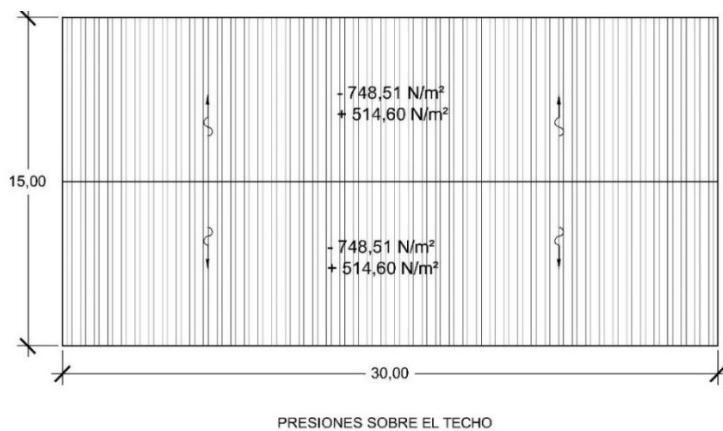
$$p = q_{z,h} GC_N$$

$$p_{\text{techo}(+)} = 550,37 \text{ N/m}^2 (0,85)(1,1) = 514,60 \text{ N/m}^2$$

$$p_{\text{techo}(-)} = 550,37 \text{ N/m}^2(0,85)(-1,6) = -748,51 \text{ N/m}^2$$

La presión mínima en el techo es de 380 kN/m<sup>2</sup>, aplicada al área de la proyección del horizontal del techo.

Figura 61. **Presión de viento sobre techo de estructura para el diseño del Sistema principal de resistencia de fuerza de viento, ejemplo 4**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

#### 7.4.4. Presiones sobre los componentes y el revestimiento

h. Coeficiente de presión de velocidad de exposición

$$K_{h(7\text{ m})} = \frac{(1,12 - 1,08)}{(7,6 - 6,1)} (7 - 6,1) + 1,08 = 1,104$$

$$K_{h(8\text{ m})} = \frac{(1,16 - 1,12)}{(9,1 - 7,6)} (8 - 7,6) + 1,12 = 1,131$$

i. Determinar presión de velocidad,  $q_z$  o  $q_h$

$$q_z = 0,613(0,85)(1,104)(1)(30,56 \text{ m/s})^2 = 537,23 \text{ N/m}^2$$

$$q_h = 0,613(0,85)(1,131)(1)(30,56 \text{ m/s})^2 = 550,37 \text{ N/m}^2$$

j. Coeficiente de presión neta,  $C_N$

Los paneles del techo poseerán 7,76 m de largo y 1 m de ancho efectivo.

El área efectiva del viento para el revestimiento del techo es:

$$\text{Largo} = 7,76 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 1 \text{ m}$$

$$\text{Ancho min} = \frac{7,76 \text{ m}}{3} = 2,59 \text{ m}$$

$$\text{Área efectiva del viento} = 7,76 \text{ m} \times 2,59 \text{ m} = 20,073 \text{ m}^2$$

La dimensión de  $a$  es la siguiente:

$$a_1 = 0,10 \times 15 \text{ m} = 1,50 \text{ m}$$

$$a_2 = 0,40 \times 8 \text{ m} = 3,2 \text{ m}$$

$$a_{\min 1} = 0,04 \times 15 \text{ m} = 0,60 \text{ m}$$

$$a_{\min 1} = 0,90 \text{ m}$$

Utilizando  $a = 1,50 \text{ m}$

$$a^2 = (1,50 \text{ m})^2 = 2,25 \text{ m}^2$$

$$4a^2 = 4(1,50 \text{ m})^2 = 9 \text{ m}^2$$

El área efectiva de viento para los paneles del techo es mayor a  $4a^2$ , por lo que se utilizan los coeficientes netos para un área efectiva mayor a  $9 \text{ m}^2$  y un ángulo de  $15^\circ$ .

Tabla XXXII. **Coefficiente de presión neta para revestimiento sobre el techo, ejemplo 4**

Ángulo del techo, $\theta$	Área	CN					
		Flujo del viento libre			Flujo del viento obstaculizado		
		Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 1	Zona 2	Zona 3
$15^\circ$	$>4a^2$	1,1	1,1	1,1	0,5	0,5	0,5
		-1,1	-1,1	-1,1	-1,6	-1,6	-1,6

Fuente: elaboración propia.

Debido a que los coeficientes son los mismos para todas las zonas del techo, no es necesario zonificar el techo. Sin embargo, existe la posibilidad de que la bodega esté tanto vacía como llena, por lo que se debe de utilizar el máximo coeficiente de presión neta negativo y positivo.

$$C_N = 1,1 \text{ y } -1,6$$



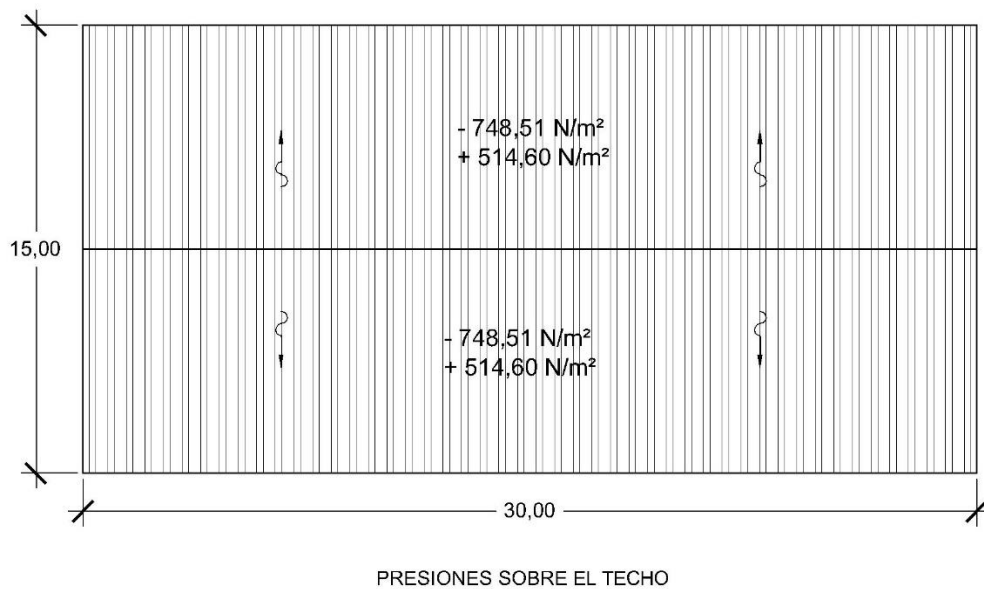
k. Determinar presión de viento, p

$$p = q_{z,h} GC_N$$

$$p_{\text{techo}(+)} = 550,37 \text{ N/m}^2 (0,85)(1,1) = 514,60 \text{ N/m}^2$$

$$p_{\text{techo}(-)} = 550,37 \text{ N/m}^2 (0,85)(-1,6) = -748,51 \text{ N/m}^2$$

Figura 62. **Presión de viento sobre techo de estructura abierta para el diseño del revestimiento, ejemplo 4**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Como se puede observar, los valores de las presiones sobre el techo son las mismas en ambos análisis de la estructura, debido a que los paneles del techo poseen un área efectiva del viento mayor a  $4a^2$ , de lo contrario, los valores serían distintos.

## CONCLUSIONES

1. Según el ASCE, existen dos metodologías para el cálculo de cargas de viento de diseño, el método direccional y el método de la envolvente. Se aplican con base en la geometría de la estructura y el grado de detalle con el que se desea concluir el análisis. En el caso de AGIES, se presenta un método general basado en las metodologías de ASCE, omitiendo la incorporación de algunas características geométricas de la estructura en el análisis.
2. Con base en las gráficas de los valores del coeficiente de presión de velocidad propuestas por ASCE, las estructuras presentan una distribución de presiones de viento donde los valores más críticos se localizan en los cambios brusco de la geometría de la estructura, como las esquinas de los muros y las esquinas y orilla del techo, zonificaciones que no son consideradas por AGIES debido a que se presenta un coeficiente de presión de velocidad uniforme para toda la superficie.
3. Tanto ASCE como AGIES hacen una distinción entre los valores de las cargas de viento para el análisis de los componentes y los del revestimiento, ya que estos trabajan como elementos individuales y no como un conjunto, por lo que se incrementan las cargas de diseño. ASCE difiere de AGIES al proponer zonificaciones de las presiones de viento sobre las superficies de los componentes y revestimiento. De esta manera logra resultados más certeros relacionados con los valores de la carga de viento de diseño.

4. Con base en los resultados de las ejemplificaciones, se puede demostrar que la zonificación de presiones propuesta por ASCE proveen la base para la distribución, tanto de elementos estructurales como de componentes individuales, información que es implementada en el balance entre las exigencias de las cargas de diseño y la eficiencia de la estructura. En el caso del análisis general propuesto por AGIES, la distribución de una carga de viento uniforme sobre toda la superficie exige que los elementos también sean distribuidos uniformemente, lo cual asegura que la estructura resistirá las cargas, pero restringe un diseño eficiente.
  
5. La precisión de los valores de las variables de diseño depende de la cantidad de información proveniente de la topografía, características del entorno, las características geométricas y el tipo de estructura del proyecto por diseñar. Sin embargo, en las metodologías propuestas por el ASCE siempre existen datos base que se pueden utilizar en caso de que se carezca de información necesaria para la selección de una variable de diseño.

## RECOMENDACIONES

1. Para estructuras de baja altura, se puede aplicar el método de direccional y el método de la envolvente. Es preferible utilizar el segundo porque presenta una metodología más detallada de la zonificación de las presiones sobre la estructura, lo cual permite realizar un diseño más eficiente, y puede concluir en valores de carga menores al método direccional.
2. El análisis previo de las figuras que presenta la zonificación de presiones sobre las superficies de una estructura, propuestas por ASCE, puede coadyuvar a realizar una distribución de elementos estructurales más eficiente en las zonas críticas, antes de realizar el cálculo de las cargas de viento.
3. Es importante identificar los elementos en una estructura que están incluidos dentro de la categoría de componentes y revestimiento, debido a que las cargas de viento de diseño pueden ser superiores a las cargas utilizadas para diseñar el Sistema principal de resistencia de fuerza de viento. Esto implica mayores esfuerzos en los materiales por utilizar.
4. Incluso cuando la carga sísmica en Guatemala es superior a la carga de viento en la mayoría de las estructuras, se debe de prestar atención a las cargas de viento para la selección del tipo de revestimiento, el diseño de los componentes que no forman parte del Sistema principal

de resistencia de fuerza de viento, y las uniones de los componentes y revestimiento, como las soldaduras, pernos, etc.

5. La existencia de información detallada de las características de un proyecto permite reducir los valores de las variables de diseño, como el factor topográfico y la categoría de exposición, lo cual reduce las cargas de viento y, por lo tanto, el costo de algunos elementos estructurales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ANDRADES RODRÍGUEZ, Marisol y MUÑEZ LEÓN, Carmen.  
*Fundamentos de climatología*. España: Universidad de La Rioja, 2012. 64 p.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.  
*Demandas estructurales, condiciones de sitio y niveles de protección*. Guatemala: AGIES, 2010. 63 p.
3. CASAS CASTILLO, Carmen y ALARCÓN JORDÁN, Marta.  
*Meteorología y clima*. 1a ed. España: Universitat Politècnica de Catalunya, 1999. 157 p.
4. Sociedad Americana de Ingenieros Civiles. *Minimum design loads for buildings and other structures, ASCE/SEI 7-10*. Estados Unidos: ASCE, 2010. 608 p.

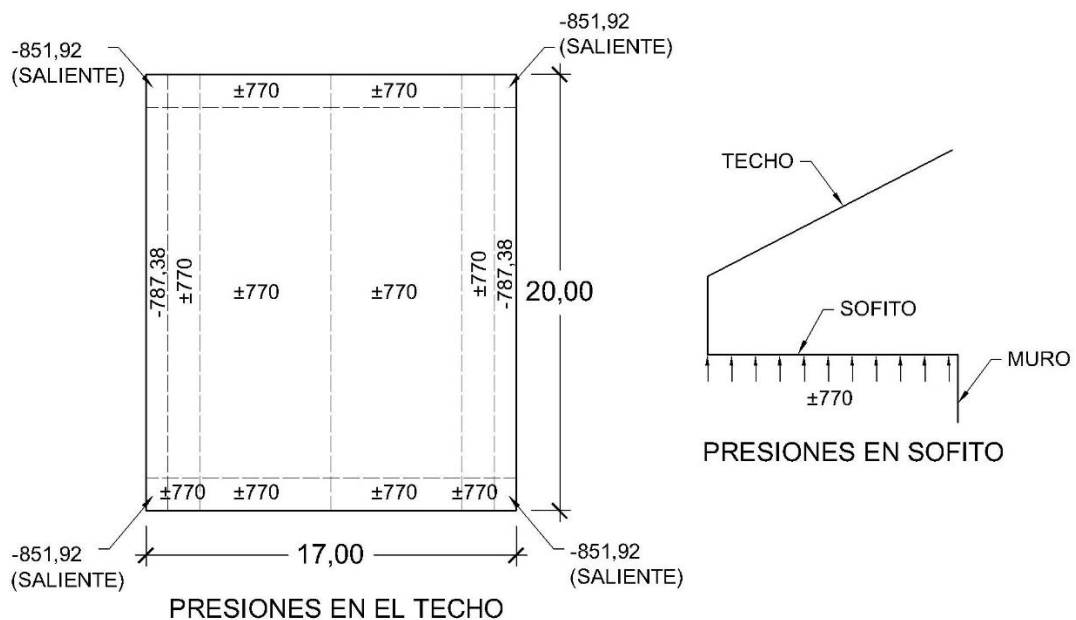


## APÉNDICES

### Aplicación de fuerzas sobre componentes y revestimiento

con base en el ejemplo de la sección 6.2, la figura Apéndice 1 muestra las cargas de viento sobre los componentes y revestimiento del techo. Si se considera que el techo será de vigas de acero con costaneras, con una distribución como la que se muestra en la figura Apéndice 2, se debe analizar la transferencia de cargas tributarias desde el revestimiento hasta la viga de acero.

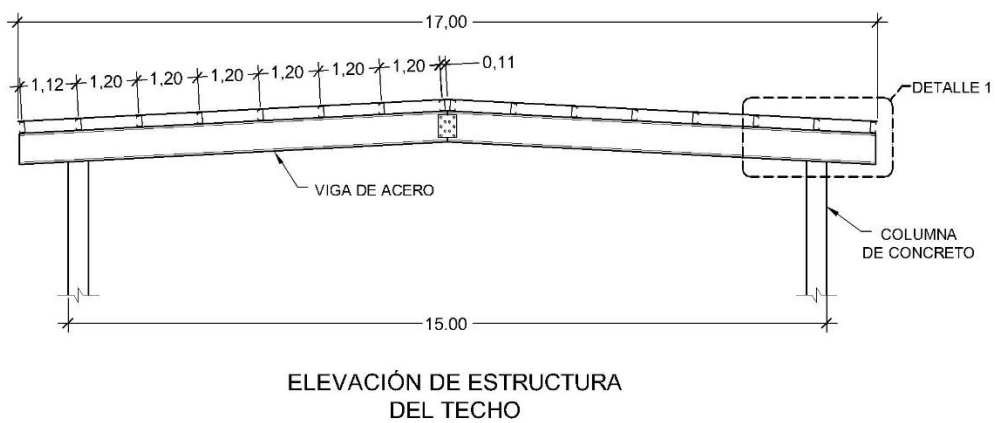
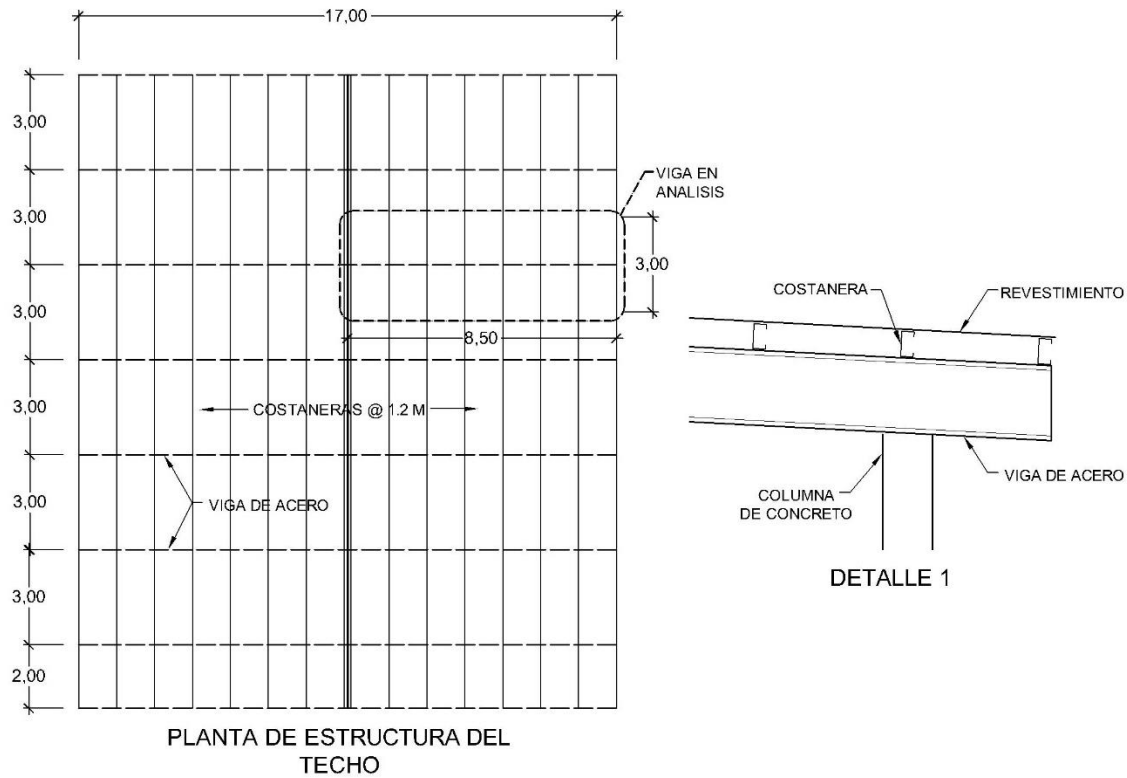
#### Apéndice 1. Detalle Presiones de viento sobre el techo, ejemplo 2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.



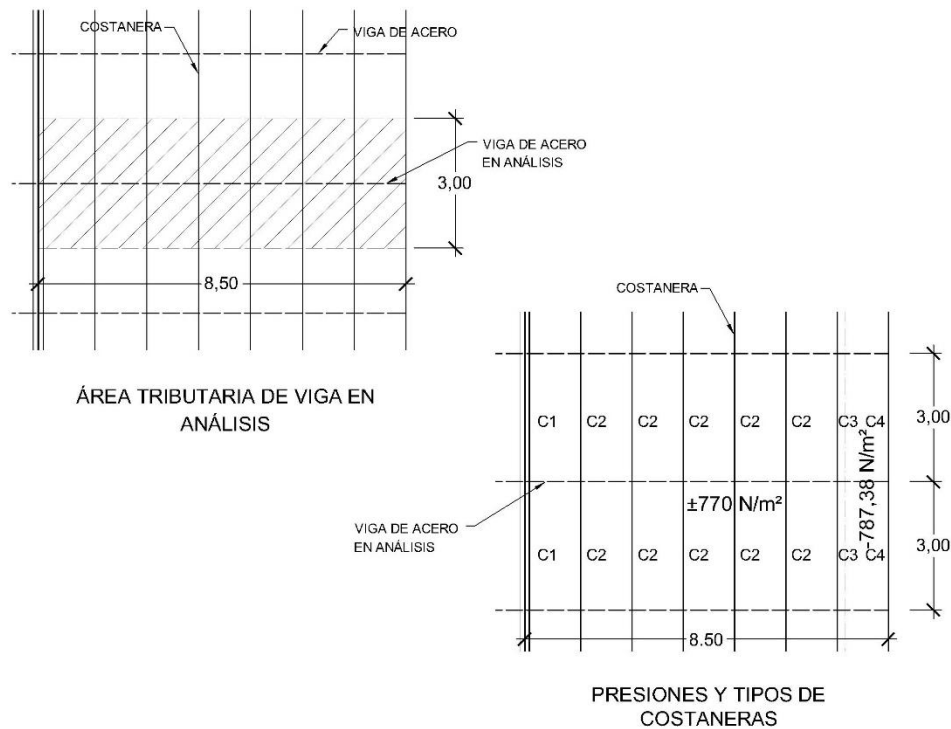
## Apéndice 2. Detalle de techo de estructura de acero, ejemplo 2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Si analizamos la viga de la figura Apéndice 2, los diferentes tipos de costanera, con base en las diferentes presiones y áreas tributarias de revestimiento de cada una, son las que se muestran en la Apéndice 3.

### Apéndice 3. Tipos de costaneras para análisis de reacciones



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

El análisis estructural para encontrar las reacciones en los extremos se realiza con base en los diferentes tipos de costaneras. Las costaneras se colocarán por medio de un perno en cada extremo, por ello, las costaneras pueden analizarse simplemente apoyadas sobre la viga.

- Costanera 1

- Cortante

$$V = wl/2$$

$$V = (770 \text{ N/m}^2 \times 0,71 \text{ m})(3 \text{ m}) / 2 = 820,05 \text{ N}$$

- Momento

$$M = wl^2 / 8$$

$$M = (770 \text{ N/m}^2 \times 0,71 \text{ m}) \times (3 \text{ m})^2 / 8 = 615,04 \text{ N-m}$$

- Costanera 2

- Cortante

$$V = (770 \text{ N/m}^2 \times 1,2 \text{ m})(3 \text{ m}) / 2 = 1 386 \text{ N}$$

- Momento

$$M = (770 \text{ N/m}^2 \times 1,2 \text{ m})(3 \text{ m})^2 / 8 = 1 039,50 \text{ N-m}$$

- Costanera 3

- Cortante

$$V = (770 \text{ N/m}^2 \times 0,84 \text{ m} + 787,38 \text{ N/m}^2 \times 0,36 \text{ m})(3 \text{ m}) / 2 = 1 395,39 \text{ N}$$

- Momento

$$M = (770 \text{ N/m}^2 \times 0,84 \text{ m} + 787,38 \text{ N/m}^2 \times 0,36 \text{ m})(3 \text{ m})^2 / 8 = 1\,046,54 \text{ N-m}$$

- Costanera 4

- Cortante

$$V = (787,38 \text{ N/m}^2 \times 0,64 \text{ m})(3 \text{ m}) / 2 = 755,89 \text{ N}$$

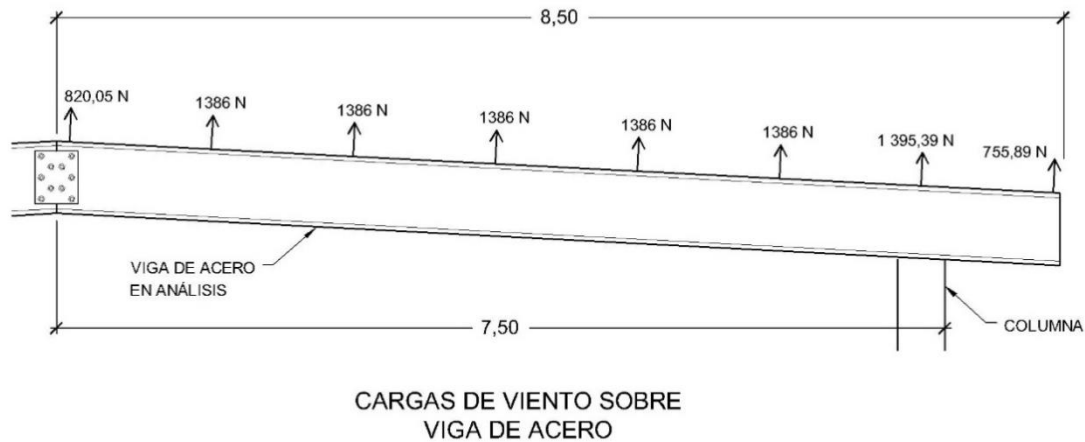
- Momento

$$M = (787,38 \text{ N/m}^2 \times 0,64 \text{ m})(3 \text{ m})^2 / 8 = 566,92 \text{ N-m}$$

Las reacciones en los extremos de las costaneras son transmitidas a la viga en análisis. Debido a que las cargas de viento y las áreas tributarias son iguales en ambos lados de la viga, simplemente se multiplica por dos cada reacción para obtener la reacción total en cada apoyo de la costanera sobre la viga de acero. El resultado se muestra en la figura apéndice 4.

El momento que se calculó debe de ser utilizado dentro de las combinaciones de cargas para obtener la más crítica y así seleccionar el tipo de costanera que cumpla con los requerimientos.

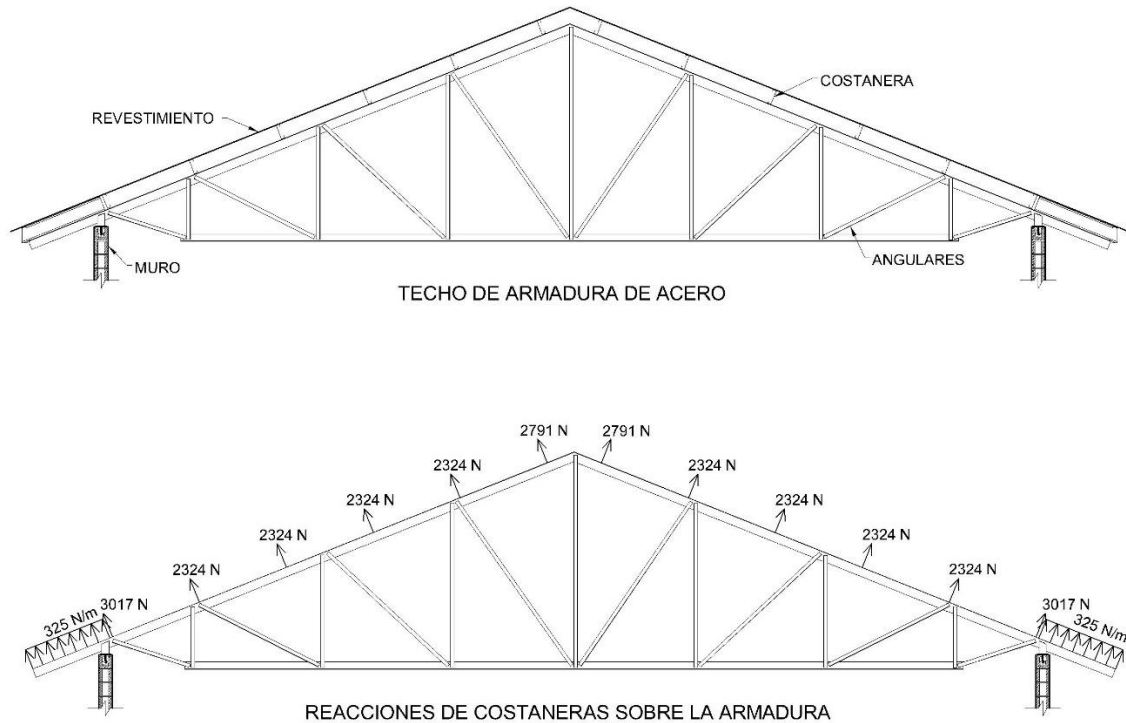
#### Apéndice 4. Reacciones de viento sobre viga de acero



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

Si el análisis se hubiese realizado sobre un techo de armadura de piezas de acero, las reacciones se aplicarían como se muestra en la figura Apéndice 5. Las cargas de viento deben utilizarse en las diferentes combinaciones de carga para diseñar la armadura del techo.

## Apéndice 5. Reacciones de viento sobre techo de armadura de acero

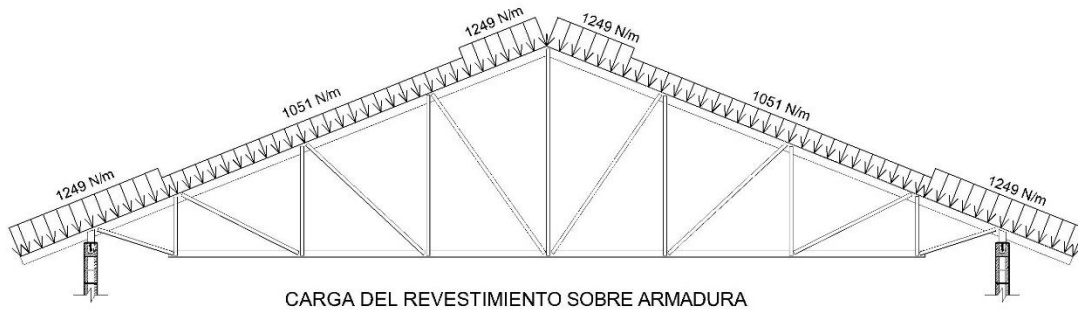


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.

De igual manera se aplican las cargas de viento en los muros cuando se utiliza un elemento, como la costanera, para sostener los paneles.

Al analizar un techo en el cual se apoya el revestimiento directamente sobre la viga, armadura, etc. la tributación de cargas se realiza con base en la separación de cada viga, armadura o elemento que se utilice, y se puede aplicar como una carga distribuida como se muestra en la figura apéndice 6.

## Apéndice 6. Reacciones de viento sobre techo de armadura de acero



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2014.