

**Universidad de Costa Rica**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil**

**Comparación del Reglamento de Construcción con los nuevos lineamientos  
de viento del país**

**Trabajo de Graduación**

Que para obtener el grado de Licenciatura de Ingeniería Civil

Presento por:

**Pablo José Navas Barrantes**

Directora de proyecto de Graduación:

**Ing. Andrea Ramírez Villalba**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

Julio, 2021



## Hoja de Aprobación



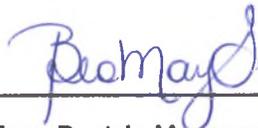
---

Ing. Andrea Ramírez Villalba  
Director



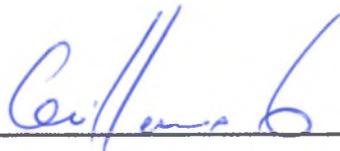
---

Ing. Eduardo Guevara Escalante, M.Eng.  
Asesor



---

Ing. Beatriz Mayorga Salas. M.Eng.  
Asesor



---

Ing. Guillermo González Beltrán, Ph.D.  
Asesor



---

Pablo José Navas Barrantes  
Estudiante



## **Derechos de Propiedad Intelectual**

**Fecha: 2 de julio del 2021**

El suscrito, **Pablo José Navas Barrantes**, cédula 1-1663-0589, estudiante de la carrera de Licenciatura de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B55055**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación "**Comparación del Reglamento de Construcción con los nuevos lineamientos de viento del país**", bajo la Dirección del **Ing. Andrea Ramírez Villalba**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

**Nota:** De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

## **Dedicatoria**

A mi familia, quienes han estado siempre apoyándome y guiándome durante toda mi vida.

## **Agradecimientos**

A mi familia por todo el apoyo que me han dado a lo largo de los años.

A mis compañeros y profesores que han sido parte de este proceso universitario.

A Ing. Andrea Ramírez, Ing. Eduardo Guevara, Ing. Beatriz Mayorga y Ing. Guillermo González por la guía y asesoría durante el desarrollo del proyecto.

## Tabla de contenidos

1	Introducción.....	1
1.1	Justificación.....	1
1.1.1	Problema específico.....	1
1.1.2	Importancia .....	2
1.1.3	Antecedentes .....	2
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo general.....	3
1.2.2	Objetivos específicos.....	4
1.3	Delimitación del problema.....	4
1.3.1	Alcances .....	4
1.3.2	Limitaciones.....	5
1.4	Descripción de la metodología a utilizar .....	6
2	Marco Teórico .....	8
2.1	Generalidades del Viento .....	8
2.2	Acciones del viento sobre estructuras .....	10
3	Descripción de los códigos.....	15
3.1	Descripción del Reglamento de Construcciones de Costa Rica Capítulo XX.....	15
3.1.1	Cargas de Viento .....	15
3.1.2	Presión Básica del Viento .....	16
3.1.3	Métodos de Cálculo.....	17
3.1.4	Superficie de cálculo .....	18
3.1.5	Factor de Forma.....	18
3.1.6	Fuerza del viento.....	19
3.2	Descripción LDVCR.....	20
3.2.1	Objetivos de desempeño .....	20

3.2.2	Demanda por viento .....	23
3.2.3	Presión neta para diseño .....	30
3.2.4	Coefficientes de presión interna .....	33
3.2.5	Combinaciones de carga y factores de participación.....	34
3.2.6	Consideraciones de Seguridad y Servicio.....	35
4	Descripción de Estructuras Por Utilizar .....	36
4.1	Nave Industrial .....	36
4.1.1	Descripción General .....	36
4.1.2	Apoyos .....	41
4.1.3	Descripción de los elementos.....	43
4.1.4	Conexiones entre elementos.....	44
4.2	Ventanas de Edificio .....	45
4.3	Rótulo.....	48
5	Comparación de metodologías y análisis de resultados.....	50
5.1	Definición de parámetros de comparación .....	50
5.2	Nave Industrial .....	52
5.2.1	Estimación de cargas .....	52
5.2.2	Estimación de reacciones globales.....	54
5.2.3	Estimación de deflexiones.....	60
5.3	Ventanería.....	63
5.3.1	Estimación de cargas .....	63
5.4	Rótulo.....	67
5.4.1	Estimación de cargas .....	67
5.4.2	Estimación de reacciones globales.....	69
5.4.3	Estimación de deflexiones.....	74
6	Conclusiones y Recomendaciones.....	76

6.1	Conclusiones .....	76
6.1.1	Descripción y comparación de las metodologías .....	76
6.1.2	Nave Industrial.....	76
6.1.3	Ventanería .....	77
6.1.4	Rótulo .....	77
6.2	Recomendaciones .....	78
7	Fuentes de información.....	80
8	Apéndices:.....	83
8.1	Apéndice A: Diagramas de carga de viento para la nave industrial.....	83
8.2	Apéndice A: Diagramas de carga de viento para el rótulo .....	90
8.3	Apéndice C: Memorias de cálculo para la nave industrial .....	94
8.4	Apéndice D: Memorias de cálculo para la ventanería .....	121
8.5	Apéndice E: Memorias de cálculo para el rótulo .....	140
9	Anexos .....	166
9.1	Anexo A: Coeficientes de forma para la nave industrial.....	166
9.2	Anexo B: Coeficientes de forma y casos de carga para el rótulo .....	167

## Tabla de figuras

<b>Figura 1.</b> Fase 1 de la metodología.....	7
<b>Figura 2.</b> Fase 2 de la metodología.....	7
<b>Figura 3.</b> Fase 3 de la metodología.....	7
<b>Figura 4.</b> Afectación de la velocidad del viento debido a la rugosidad .....	9
<b>Figura 5.</b> Afectación de la velocidad del viento debido a la topografía.....	10
<b>Figura 6.</b> Nombre de superficies con respecto a la dirección del viento.....	11
<b>Figura 7.</b> Vista en planta del efecto del viento sobre una estructura .....	12
<b>Figura 8.</b> Vista en altura de la presión externa e interna del viento en la estructura.....	13
<b>Figura 9.</b> Presión neta generada por el viento en una estructura.....	13
<b>Figura 10.</b> Zonificación eólica de Costa Rica.....	23
<b>Figura 11.</b> Definición de h .....	26
<b>Figura 12.</b> Sectores de rugosidad.....	27
<b>Figura 13.</b> Definición de variables del coeficiente topográfico .....	28
<b>Figura 14.</b> Casos de carga de diseño .....	32
<b>Figura 15.</b> Planta estructural de la nave industrial .....	38
<b>Figura 16.</b> Planta estructural de vigas de techo y tipos de marco .....	39
<b>Figura 17.</b> Fachada frontal de la nave industrial .....	40
<b>Figura 18.</b> Marco principal interno de la nave industrial.....	40
<b>Figura 19.</b> Fachada lateral de la nave industrial.....	41
<b>Figura 20.</b> Apoyo articulado de la nave industrial.....	41
<b>Figura 21.</b> Apoyo semi empotrado de la nave industrial .....	42
<b>Figura 22.</b> Vista 3D del modelo estructural de la nave industrial .....	42
<b>Figura 23.</b> Columna del marco M1 de la nave industrial .....	43
<b>Figura 24.</b> Vigas del marco M1 de la nave industrial .....	43
<b>Figura 25.</b> Sección columnas de cerramiento frontales y traseras.....	44
<b>Figura 26.</b> Viga de techo tipo VA-1 de la nave industrial.....	44
<b>Figura 27.</b> Fachada frontal del edificio de 75 m de altura .....	46
<b>Figura 28.</b> Elevación lateral de la torre del edificio en estudio.....	47
<b>Figura 29.</b> Elevación estructural del rótulo .....	48
<b>Figura 30.</b> Planta del rótulo .....	49
<b>Figura 31.</b> Comparación de cortante X y Y de los tres casos de rugosidad de la nave industrial,	

según ambas metodologías.....	58
<b>Figura 32.</b> Comparación de reacción vertical de los tres casos de rugosidad de la nave industrial, según ambas metodologías.....	59
<b>Figura 33.</b> Comparación del momento X y Y de los tres casos de rugosidad de la nave industrial, según ambas metodologías.....	59
<b>Figura 34.</b> Comparación de desplazamientos absolutos para los casos de rugosidad, según cada metodología.....	62
<b>Figura 35.</b> Comparación gráfica de presión de diseño para la ventanería para dos casos distintos de ocupación según ambas metodologías.....	66
<b>Figura 36.</b> Comparación gráfica de succión de diseño para la ventanería para dos casos distintos de ocupación según ambas metodologías.....	67
<b>Figura 37.</b> Comparación de cortante X de los tres casos de ubicación del rótulo, según ambas metodologías.....	72
<b>Figura 38.</b> Comparación de momento Y de los tres casos de ubicación del rótulo, según ambas metodologías.....	73
<b>Figura 39.</b> Comparación de momento Y de los tres casos de ubicación del rótulo, según ambas metodologías.....	73
<b>Figura 40.</b> Comparación de desplazamientos absolutos para los casos de ubicación, según cada metodología.....	75
<b>Figura 41.</b> Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad B caso a según el LDVCR.....	83
<b>Figura 42.</b> Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad B caso b según el LDVCR.....	84
<b>Figura 43.</b> Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad C caso a según el LDVCR.....	85
<b>Figura 44.</b> Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad C caso b según el LDVCR.....	86
<b>Figura 45.</b> Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad D caso a según el LDVCR.....	87
<b>Figura 46.</b> Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad D caso b según el LDVCR.....	88
<b>Figura 47.</b> Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad de ciudad según el	

Reglamento de Construcciones .....	89
<b>Figura 48.</b> Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad de campo abierto según el Reglamento de Construcciones.....	89
<b>Figura 49.</b> Distribución de cargas en el rótulo en Liberia según el LDVCR .....	90
<b>Figura 50.</b> Distribución de cargas en el rótulo en San José según el LDVCR.....	91
<b>Figura 51.</b> Distribución de cargas en el rótulo en Limón según el LDVCR .....	92
<b>Figura 52.</b> Distribución de cargas en el rótulo en la ciudad según el Reglamento de Construcciones.....	93
<b>Figura 53.</b> Coeficientes de presión para el rótulo.....	167

## Tabla de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Presión básica con respecto a la altura para construcciones situadas en la ciudad o lugares de rugosidad comparable .....	16
<b>Cuadro 2.</b> Presión básica con respecto a la altura para construcciones en campo abierto frente al mar y sitios similares.....	17
<b>Cuadro 3.</b> Coeficientes según el uso de la estructura .....	17
<b>Cuadro 4.</b> Factor de forma según el tipo de estructura.....	19
<b>Cuadro 5.</b> Clasificación de las edificaciones según ocupación e importancia .....	21
<b>Cuadro 6.</b> Periodo de retorno según nivel de demanda .....	21
<b>Cuadro 7.</b> Objetivos de desempeño.....	23
<b>Cuadro 8.</b> Parámetros de exposición del sitio .....	25
<b>Cuadro 9.</b> Coeficiente de recurrencia.....	27
<b>Cuadro 10.</b> Parámetros para la aceleración sobre sierra, cerros y escarpes.....	29
<b>Cuadro 11.</b> Coeficiente de direccionalidad .....	30
<b>Cuadro 12.</b> Coeficiente de presión interna para paredes y techos .....	34
<b>Cuadro 13.</b> Propiedades geométricas de la nave industrial .....	36
<b>Cuadro 14.</b> Materiales de elementos estructurales de la nave industrial.....	37
<b>Cuadro 15.</b> Propiedades mecánicas según el material.....	37
<b>Cuadro 16.</b> Propiedades geométricas del edificio.....	45
<b>Cuadro 17.</b> Propiedades geométricas de las ventanas.....	47
<b>Cuadro 18.</b> Comparación del parámetro de rugosidad entre metodologías.....	50
<b>Cuadro 19.</b> Comparación del parámetro de ocupación de la estructura entre metodologías	50
<b>Cuadro 20.</b> Tipos de estructuras según la metodología .....	51
<b>Cuadro 21.</b> Zonas y parámetros base para las estructuras .....	51
<b>Cuadro 22.</b> Parámetros para la estimación de cargas de la nave industrial según LDVCR...	52
<b>Cuadro 23.</b> Cálculo de presión mínima según el LDVCR .....	53
<b>Cuadro 24.</b> Parámetros para la estimación de cargas de la nave industrial según Reglamento de Construcciones .....	53
<b>Cuadro 25.</b> Diferencia entre presión de viento evaluada en h entre metodologías .....	54
<b>Cuadro 26.</b> Reacciones globales de la nave industrial con rugosidad B según LDVCR.....	55
<b>Cuadro 27.</b> Reacciones globales de la nave industrial con rugosidad C según LDVCR.....	55
<b>Cuadro 28.</b> Reacciones globales de la nave industrial con rugosidad D según LDVCR .....	55

<b>Cuadro 29.</b> Comparación de cortante para cada rugosidad con el caso de presión mínima del LDVCR.....	56
<b>Cuadro 30.</b> Reacciones globales de la nave industrial situada en ciudad según el Reglamento de Construcciones .....	56
<b>Cuadro 31.</b> Reacciones globales de la nave industrial situada en campos abiertos según el Reglamento de Construcciones .....	56
<b>Cuadro 32.</b> Comparación de resultados globales de LDVCR y Reglamento de Construcciones para la nave industrial con una rugosidad B.....	57
<b>Cuadro 33.</b> Comparación de resultados globales de LDVCR y Reglamento de Construcciones para la nave industrial con una rugosidad C contra rugosidad de ciudad .....	57
<b>Cuadro 34.</b> Comparación de resultados globales de LDVCR y Reglamento de Construcciones para la nave industrial con una rugosidad C contra rugosidad de campo abierto .....	57
<b>Cuadro 35.</b> Comparación de resultados globales de LDVCR y Reglamento de Construcciones para la nave industrial con una rugosidad D .....	58
<b>Cuadro 36.</b> Desplazamientos absolutos para la nave industrial para distintas rugosidades según LDVCR.....	61
<b>Cuadro 37.</b> Desplazamientos relativos para la nave industrial para distintas rugosidades según LDVCR.....	61
<b>Cuadro 38.</b> Desplazamientos absolutos para la nave industrial para distintas rugosidades según Reglamento de Construcciones .....	61
<b>Cuadro 39.</b> Desplazamientos relativos para la nave industrial para distintas rugosidades según Reglamento de Construcciones .....	62
<b>Cuadro 40.</b> Parámetros para la estimación de cargas de la ventanería según LDVCR.....	63
<b>Cuadro 41.</b> Presión de diseño para la ventanería de un edificio de 75 m de altura con distintas ocupaciones según LDVCR .....	64
<b>Cuadro 42.</b> Parámetros para la estimación de cargas de la ventanería según el Reglamento de Construcciones .....	64
<b>Cuadro 43.</b> Presión de diseño para la ventanería de un edificio de 75 m de altura con distintas ocupaciones según Reglamento de Construcciones.....	65
<b>Cuadro 44.</b> Comparación de presión de diseño para la ventanería de un edificio de 75 m de altura con una ocupación esencial entre LDVCR y el Reglamento de Construcciones.....	65
<b>Cuadro 45.</b> Comparación de presión de diseño para la ventanería de un edificio de 75 m de	

altura con una ocupación normal entre LDVCR y el Reglamento de Construcciones.....	66
<b>Cuadro 46.</b> Parámetros para la estimación de cargas del rótulo según el LDVCR.....	68
<b>Cuadro 47.</b> Parámetros para la estimación de cargas del rótulo según el Reglamento de Construcciones.....	68
<b>Cuadro 48.</b> Diferencia entre presión de viento evaluada en h para el rótulo entre metodologías .....	69
<b>Cuadro 49.</b> Reacciones globales del rótulo en Liberia según los casos de carga del LDVCR	69
<b>Cuadro 50.</b> Reacciones globales del rótulo en San José según los casos de carga del LDVCR .....	69
<b>Cuadro 51.</b> Reacciones globales del rótulo en Limón según los casos de carga del LDVCR .	70
<b>Cuadro 52.</b> Comparación de reacciones globales del rótulo según la ubicación.....	70
<b>Cuadro 53.</b> Reacciones globales del rótulo según el Reglamento de Construcciones .....	71
<b>Cuadro 54.</b> Comparación de reacciones globales para el rótulo ubicado en Liberia entre el LDVCR y el Reglamento de Construcciones.....	71
<b>Cuadro 55.</b> Comparación de reacciones globales para el rótulo ubicado en San José entre el LDVCR y el Reglamento de Construcciones.....	71
<b>Cuadro 56.</b> Comparación de reacciones globales para el rótulo ubicado en Limón entre el LDVCR y el Reglamento de Construcciones.....	72
<b>Cuadro 57.</b> Desplazamientos absolutos por ubicación para el LDVCR .....	74
<b>Cuadro 58.</b> Desplazamientos absolutos por ubicación para el Reglamento de Construcciones .....	74

Navas Barrantes, Pablo José

Comparación del Reglamento de Construcción con los nuevos lineamientos de viento del país

Proyecto de Graduación – Ingeniería Civil – San José, Costa Rica

P. Navas B., 2021

xii, 82, 83 [h]; ils. col. – 25 refs

### **Resumen**

El presente trabajo compara el efecto del viento calculado por medio del Reglamento de Construcciones y los Lineamientos de Diseño por Viento de Costa Rica (LDVCR) para distintas estructuras en diferentes condiciones. Para cada caso se comparó la estimación de carga, y en algunos casos se compararon las reacciones globales y las deflexiones laterales debido a la carga de viento.

Por medio del capítulo XX del Reglamento de Construcciones y el LDVCR se realizó el cálculo de la presión de viento para cada tipo de estructura. Además, se varió un parámetro de diseño en cada estructura para comparar el efecto de la rugosidad, la ubicación y la ocupación de la estructura. Por medio de métodos aproximados y un programa de análisis estructural se calcularon las reacciones globales y las deflexiones laterales debido a la carga de viento, con lo cual se realizó una comparación cuantitativa de las diferencias entre el Reglamento de Construcciones y el LDVCR.

Para la estimación de cargas por medio del LDVCR se presenta una metodología con mayor complejidad que la del Reglamento de Construcciones, ya que se consideran una mayor cantidad de parámetros para la obtención de presiones más acertadas. En el caso del LDVCR se encontraron presiones de viento mayores que en el Reglamento de Construcciones para la mayoría de los casos, lo cual se justifica con las reacciones globales obtenidas. También los casos de carga de las estructuras por medio del LDVCR permiten considerar efectos distintos, como la torsión, sobre ciertas estructuras que se desprecian en el Reglamento de Construcciones. Además, se encontró que no son comparables las deflexiones laterales obtenidas por cada metodología, debido a que el LDVCR considera cargas de servicio para el cálculo de deflexiones, mientras que las cargas del Reglamento de Construcciones no se pueden asociar a un periodo de retorno por lo que siempre serán una carga última.

# **1 Introducción**

En este trabajo se realizó una comparación de las metodologías para la estimación de cargas de viento contenidas en el Reglamento de Construcciones de Costa Rica de 1983 y el borrador de los Lineamientos para Diseño por Viento de Edificaciones de Costa Rica del 2021.

## **1.1 Justificación**

### **1.1.1 Problema específico**

Costa Rica es un país de alta sismicidad, principalmente por ubicarse en una zona de subducción de las placas Cocos y Caribe, pero también a causa de fallas locales, este fenómeno conlleva a que la mayoría de los diseños estructurales sean regidos por las fuerzas sísmicas y esto ha ocasionado que en el país se le de mayor importancia a la investigación de estructuras sometidas a acciones sísmicas que a las acciones de viento.

Actualmente, en Costa Rica la estimación de fuerzas de viento, se realizan según lo estipulado en el Capítulo XX del Reglamento de Construcciones del año 1983. Este documento fue desarrollado por el Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU) en 1980, y su última publicación, con respecto a la estimación de cargas de viento, se realizó en 1983. Este reglamento establece una manera simplificada de calcular las presiones de viento. En el 2018 se realizó una actualización del Reglamento de Construcciones, pero este no incluye información con respecto a las cargas de viento.

Ante la falta de actualización del Reglamento de Construcciones referente a las cargas de viento, surge la necesidad de elaborar una normativa de viento. Por lo tanto, se está terminando de desarrollar la nueva normativa llamada Lineamientos para Diseño por Viento de Edificaciones en Costa Rica (LDVCR). No se encontró en la bibliografía revisada ninguna normativa de diseño por viento, por lo que el desarrollo del LDVCR sería la primera normativa con respecto al diseño por viento en Costa Rica.

En Costa Rica han ocurrido eventos de magnitudes y afectaciones importantes por viento en estructuras, como lo fue el huracán Otto en noviembre del 2016 y otros. Este huracán generó daños importantes a las estructuras del país, ya que estas no estaban diseñadas para soportar cargas de viento.

Ante la publicación de los nuevos lineamientos, surge la necesidad de entender mejor las implicaciones de las magnitudes de las acciones de viento en el diseño de las estructuras, con respecto al reglamento de construcciones de 1983.

### 1.1.2 Importancia

Si bien es cierto, que en muchos de los diseños rigen las fuerzas de sismo, para estructuras con ciertas configuraciones rigen las fuerzas de viento, por lo que se debe de realizar un diseño por viento para salvaguarda de la vida humana. Tal es el caso para estructuras livianas, edificios altos, edificaciones con grandes áreas de exposición, ventanearías, rótulos, entre otras.

Ante la ocurrencia de eventos naturales relacionados con las fuerzas de viento en Costa Rica, como lo fue el huracán Otto, es importante cuantificar las implicaciones que se generan a partir de la comparación del Reglamento de Construcciones con el LDVCR. El fin de este estudio es que se pueda informar a los actuales y futuros ingenieros con el impacto de una nueva normativa en sus diseños.

Se espera que la cuantificación de estas implicaciones del LDVCR, sea utilizada como un parámetro para determinar si las estructuras existentes en Costa Rica están sub diseñadas, sobre diseñadas o presentan un diseño óptimo.

### 1.1.3 Antecedentes

En la investigación de Johanning (2019) se mostró una comparación del borrador de los lineamientos nuevos de viento de Costa Rica con códigos internacionales como lo es el ASCE, y el AS/NZS 1170.2 de una nave industrial. Además, a partir de los parámetros que establece cada uno de estos códigos, se analizan las presiones netas por superficie, los resultados globales, las fuerzas internas por elemento, los desplazamientos, la estimación de cargas de viento para una nave industrial cerrada, parcialmente cerrada y abierta.

En este trabajo se concluyó que las presiones netas positivas en el techo son mayores para la nave industrial abierta, y esto se debe al aumento en la magnitud de los coeficientes de presión. Con respecto a las combinaciones de carga de viento, las combinaciones del ASCE 7-10 producen fuerzas cortantes y momentos de volcamiento más críticos que las combinaciones de viento del AS/NZS 1170.2 para la estructura abierta y cerrada. Y también sugiere que la nave industrial utilizada no cumpliría con los requerimientos de los nuevos lineamientos de viento, a pesar de que si cumpla con el Reglamento de Construcciones.

En el estudio de Muñoz (2017) se introdujo un procedimiento para la determinación de la velocidad básica del viento, y compara este valor con respecto a lo obtenido a partir del Reglamento de Construcciones. Se determina que los parámetros establecidos por el reglamento son obsoletos.

En la investigación de Patiño (2006) se elaboraron mapas de velocidades de viento en Costa Rica, a partir de las velocidades del viento registradas durante varios años en las estaciones meteorológicas del país. En las conclusiones del trabajo se dice que la distribución espacial de las estaciones no contempla todas las zonas del territorio nacional. También menciona que la velocidad de diseño recomendada por el Reglamento de Construcciones es conservadora en algunos casos, y en otros casos es menor a la obtenida en esta investigación.

En el trabajo de Arguedas (2006) se realizó una comparación del Reglamento de Construcciones de Costa Rica y distintas normas internacionales de viento. Las normas consideradas corresponden a las de Estados Unidos, México, Chile, El Salvador, Canadá y Europa. Además, se da una comparación cualitativa de los parámetros de cada norma, una comparación cualitativa de metodología de cada norma a un edificio de 100 m de altura y a un marco de una nave industrial.

Este estudio concluyó que el código europeo es el que presenta los diseños más conservadores. Y también determina que el Reglamento de Construcciones de Costa Rica presenta rangos intermedios de los valores de presiones con respecto a los otros códigos.

En el Código Modelo de Construcción para Cargas de Viento (2003), se desarrolla una metodología base para Centroamérica y el Caribe que sirve como insumo para los códigos de cada país en el cálculo de cargas de viento y sismo, así como recomendaciones para actualizar los códigos existentes.

Por último, Behrens (1982), realizó una introducción al estudio de las velocidades de viento en Costa Rica y el impacto en las estructuras mediante un modelo estático.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Comparar el Reglamento de Construcciones con el LDVCR mediante la aplicación de cada metodología a distintas estructuras con distintos parámetros para la estimación de carga, para

así determinar las implicaciones que tienen los nuevos lineamientos de viento sobre futuros diseños.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar una descripción de las metodologías para la estimación de las acciones de viento según el Reglamento de Construcciones y el LDVCR.
- Realizar una comparación cuantitativa de acciones de viento calculadas con el Reglamento de Construcciones y el LDVCR, variando los parámetros para la estimación de carga de viento para una nave industrial, una ventanería y un rótulo.
- Determinar las variaciones de las reacciones globales y deformaciones mediante métodos aproximados y modelado, al aplicar las acciones de viento calculadas por ambas metodologías para una nave industrial y un rótulo.

## 1.3 Delimitación del problema

### 1.3.1 Alcances

El trabajo realizado es un estudio meramente analítico, no tiene ninguna sección experimental. Tampoco se realizó el diseño de ninguna estructura.

Únicamente se evaluó el Reglamento de Construcciones de Costa Rica y el LDVCR. Se realizó una comparación de las metodologías utilizadas en cada código. Además, se hizo el cálculo de las presiones de viento, y por medio de métodos aproximados y modelado de las estructuras se obtuvo los resultados globales y desplazamientos de las estructuras. Finalmente, se determinaron las variaciones entre el Reglamento de Construcciones y el LDVCR.

Se realizó un análisis cualitativo a partir de la descripción de las metodologías del Reglamento de Construcciones y el LDVCR. Se consideraron parámetros como la ubicación, las propiedades geométricas de la estructura, el tipo de estructura, la rugosidad del entorno donde está ubicada la estructura, la ocupación de la estructura y entre otros.

Se compararon tres estructuras las cuales corresponden a una nave industrial, la ventanería de un edificio y un rótulo, con el fin de determinar las acciones del viento mediante las metodologías del Reglamento de Construcciones y el LDVCR.

A partir de las presiones de viento calculadas, se determinaron los resultados globales y desplazamientos. Para la nave industrial, el cálculo de los resultados globales y deformaciones

se realizaron por medio del modelado. Mientras que, para el caso del rótulo, se utilizaron métodos aproximados y modelado de la estructura. Finalmente, para la ventanearía se realizó únicamente la estimación de cargas.

Para el análisis de la nave industrial, se tomaron tres rugosidades distintas, una rugosidad para áreas urbanas y suburbanas, otra rugosidad para áreas abiertas con obstrucciones dispersas y, por último, una rugosidad para áreas planas y libres de obstáculos.

Para el análisis del rótulo se tomaron tres zonas distintas del país donde se utilizaron casos de baja velocidad, velocidad moderada y velocidad alta. Además, se consideraron las provincias de Limón, San José y Guanacaste para estos análisis.

Finalmente, en el caso de la ventanearía del edificio se analizó el cambio de la presión debido a la clasificación de la ocupación de las estructuras.

### 1.3.2 Limitaciones

El Reglamento de Construcciones solo establece dos opciones de rugosidad, por lo cual no pudo compararse exactamente rugosidad por rugosidad como establece el LDVCR. Se establecieron tres casos de estudio con el propósito de comparar los casos similares entre ellos, y el caso intermedio del LDVCR compararlo con ambos casos del Reglamento de Construcciones.

Para los componentes de fachada de un edificio de una altura mayor a los 18 m en la metodología LDVCR no viene establecido un método para el cálculo de los coeficientes de forma. Por lo tanto, se consultó fuentes externas para la determinación de los coeficientes.

En los tres tipos de estructura se despreciaron las cargas permanentes, temporales y de sismo. Por lo tanto, se compararon únicamente las cargas de viento entre ellas, sin poder saber en la realidad si la fuerza de viento es la fuerza que rige.

El Reglamento de Construcciones no considera el desplazamiento por lo que se consideró que las estructuras según el Reglamento de Construcciones no tienen ningún límite de deformaciones debido al viento.

Las cargas de viento del Reglamento de Construcciones no están relacionadas a ningún periodo de retorno, por lo que no se pudo relacionar la carga última calculada a una carga de servicio para el cálculo de los desplazamientos.

## **1.4 Descripción de la metodología a utilizar**

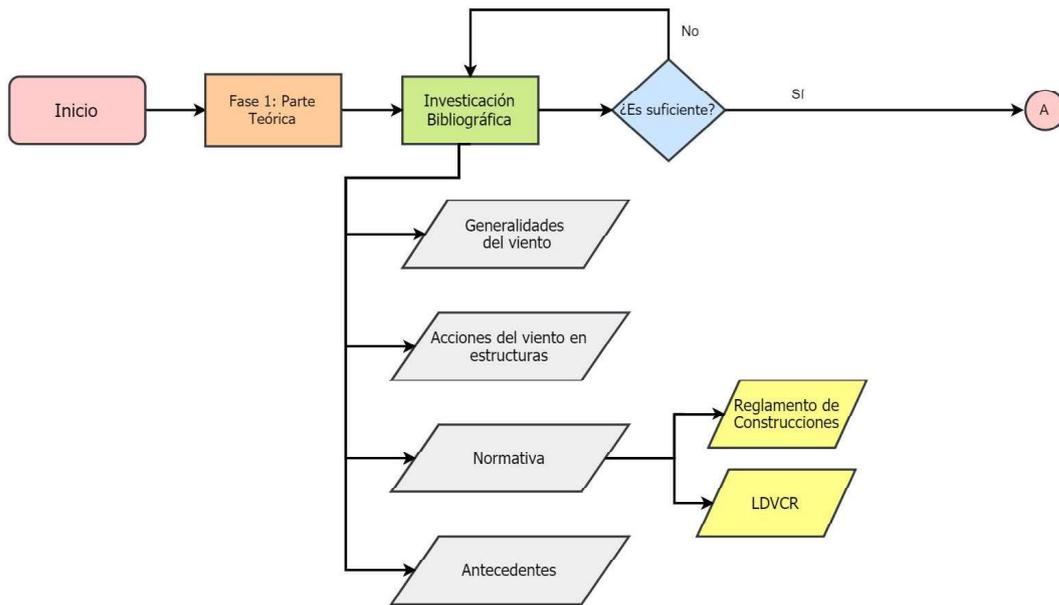
El desarrollo del proyecto contará con tres fases principales: fase teórica, fase práctica y fase de análisis.

La primera fase, se basó en la realización de un estudio bibliográfico de la información relacionada con el tema. Las secciones principales que se investigaron fueron las generalidades del viento, la acción del viento en las estructuras, las normativas tanto el Reglamento de Construcciones como el LDVCR, y por último los antecedentes del proyecto, tal y como se observa en la Figura 1.

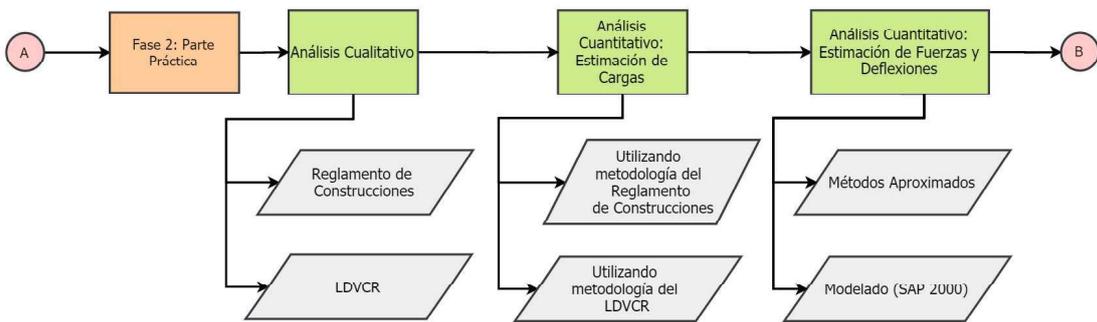
En el caso de la segunda fase, Figura 2, se realizó de la siguiente manera:

1. Se realizó un análisis cualitativo entre el Reglamento de Construcciones y el LDVCR. Donde se describieron las metodologías de ambos códigos.
2. Se realizó un análisis cuantitativo a partir de la estimación de las presiones para cada estructura para cada caso de estudio. La estimación de presiones se realizó por medio de la metodología del LDVCR y el Reglamento de Construcciones. Las estimaciones de carga para ambas metodologías se realizaron en el programa SMath.
3. Luego, se estimaron los resultados globales y deflexiones de las estructuras para realizar el segundo análisis cuantitativo. Esto se realizó de dos maneras distintas. Cada manera involucró el cálculo por medio de la metodología tanto del Reglamento de Construcciones como del LDVCR.
  - a. Para la nave industrial, la primera de estimación de resultados globales y deflexiones fue por medio del modelado de las estructuras únicamente en un programa de análisis estructural (SAP 2000 v23).
  - b. Para el rótulo, la segunda manera de estimación de resultados globales y deflexiones fue por medio de métodos aproximados y modelado, además, se realizó una memoria de cálculo en el programa de SMath.

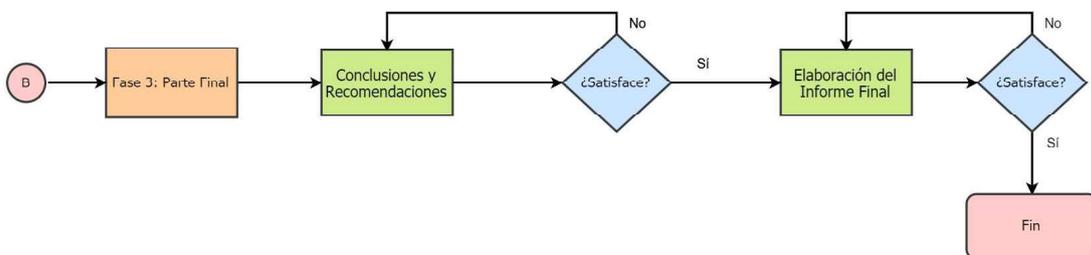
Por último, a partir de los análisis cuantitativos de resultados realizados en la Fase 2, se realizaron las conclusiones y recomendaciones del proyecto, Figura 3.



**Figura 1.** Fase 1 de la metodología



**Figura 2.** Fase 2 de la metodología



**Figura 3.** Fase 3 de la metodología

## **2 Marco Teórico**

### **2.1 Generalidades del Viento**

El viento es el movimiento del aire con respecto a la superficie de la Tierra. Este movimiento es causado principalmente por la variación del calentamiento solar de la atmósfera de la Tierra. El proceso inicia debido a la diferencia de presiones entre puntos a una misma altura. Las diferencias de presión pueden generarse debido a fenómenos termodinámicos o mecánicos (Simiu y Scanlan pag.7)

Los efectos termodinámicos se deben a la radiación solar y terrestre, la radiación en la atmósfera, la compresión y expansión del aire, la conducción molecular, y la evaporación y condensación del vapor de agua. (Simiu y Scanlan pag.9) Con respecto a los efectos mecánicos, estos se generan debido a la fuerza horizontal del gradiente de presiones, la desviación de la fuerza debido a la rotación de la Tierra, y a los efectos de fricción.

La meteorología es el estudio de la atmósfera y su efecto. La climatología es una subespecialidad de la meteorología que involucra la predicción de tormentas para cierta ubicación geográfica. En esta ciencia se estudian las velocidades del viento asociadas a un tipo de tormenta, y la probabilidad de que ocurra este evento en el sitio dado. Los eventos principales son: tormentas eléctricas, tormentas extratropicales, tornados y huracanes. (ATC, pag 3)

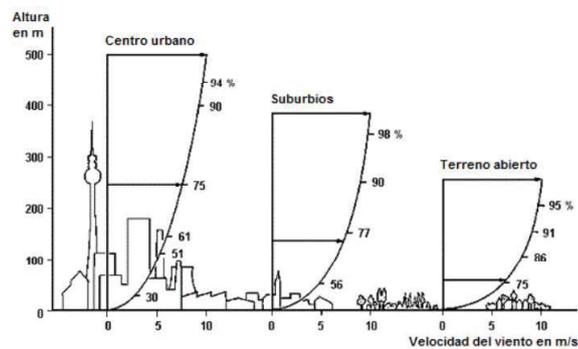
El efecto atmosférico depende de la meteorología y de la capa límite, ya que estos van a afectar la velocidad del viento. Además, el efecto atmosférico va a depender de la ubicación de la estructura, sus alrededores y condiciones de la estructura. Este efecto va a influir sobre la velocidad del viento, ya que involucra a distintos factores como lo es la altura, la rugosidad y la topografía.

Según Roland (1983), en el suelo la velocidad de viento es cero, y al aumentar la altura con respecto al terreno, aumenta parabólicamente hasta volverse constante. Los cambios se deben a la presencia de fuerzas de fricción generadas por la superficie terrestre. Davenport (1961) plantea que el viento a alturas muy elevadas es inalterado por las fuerzas de fricción que se generan en la superficie terrestre, por lo que tiende a tener una velocidad constante.

La superficie de la Tierra genera una fuerza horizontal de arrastre sobre el aire en movimiento.

Esta fuerza genera que el flujo del aire se vea retardado. El efecto de esta fuerza de arrastre disminuye al aumentar la altura con respecto a la superficie terrestre. A la altura donde esta fuerza se considera despreciable se denomina la capa límite. A partir de esta altura, se considera una zona libre de fricción, por lo que se alcanza un balance entre el flujo del aire y el gradiente de velocidad entre las isobaras. Las isobaras se definen como líneas contenidas en un mismo plano horizontal que conectan puntos de igual presión. (Simiu y Scanlan pag.14) La atmósfera sobre la capa límite se le conoce como la atmósfera libre. (Simiu y Scanlan pag.19)

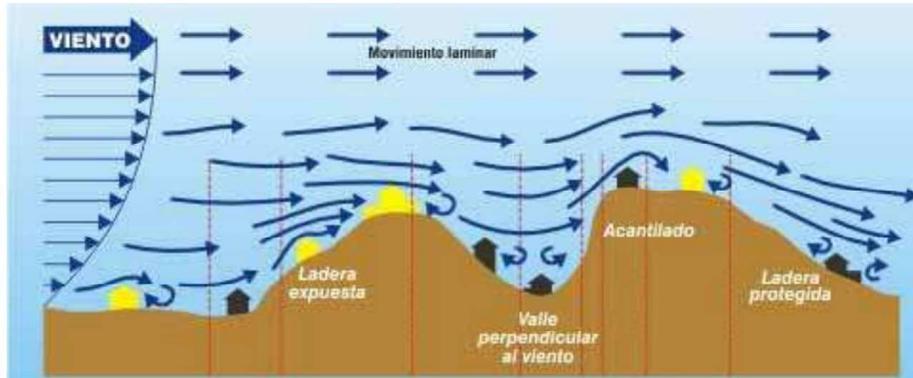
La rugosidad es un parámetro utilizado para la determinación de la velocidad del viento. La rugosidad es una característica propia de la superficie sobre la que fluye el viento y está asociada a los obstáculos presentes. (Johanning, 2019). La categoría de exposición para cada dirección de una estructura es principalmente una medida de las obstrucciones, tanto naturales como humanas, que ocurren en dirección a barlovento. Entre más rugosa sea la superficie, más lento va a ser el flujo de viento. (ATC, pag 10), lo cual se observa en la Figura 4.



**Figura 4.** Afectación de la velocidad del viento debido a la rugosidad  
**Fuente:** Nilsson, 2010.

La topografía es un factor importante para determinar la velocidad del viento. Si se evalúa en zonas con pendientes pronunciadas, puede generarse un bloqueo del paso del viento, por lo que provoca una redistribución del viento en el área disponible, tal como se observa en la Figura 5. Al disminuir el área de paso genera que las velocidades del viento aumenten debido al efecto de Venturi, que establece que si se restringe el área por la que pasa un fluido, su velocidad debe aumentar para mantener la razón de flujo constante (Cochise, 2018). Al pasar por zonas más estrechas, mencionadas anteriormente, puede generarse fuerzas con componentes verticales al flujo de viento, por lo que aumentaría la fuerza vertical que sufren

los techos de las estructuras. (ATC, pag12)



**Figura 5.** Afectación de la velocidad del viento debido a la topografía  
**Fuente:** Garcia, 2005

La velocidad del viento presenta fluctuaciones que producen valores de velocidad mayores al promedio. Estas fluctuaciones se conocen como ráfagas de viento. En los códigos de diseño por viento se utiliza una velocidad de viento promedio de las velocidades del viento considerando las fluctuaciones del mismo dentro de un intervalo de tiempo corto. Este intervalo es de tres segundos. (Holmes, 2015).

## 2.2 Acciones del viento sobre estructuras

El viento, al impactar una estructura, pierde su velocidad, pero genera una presión en el área de impacto (Cochise, 2018). Esto se establece a partir de la ecuación de Bernoulli, que se ve a continuación:

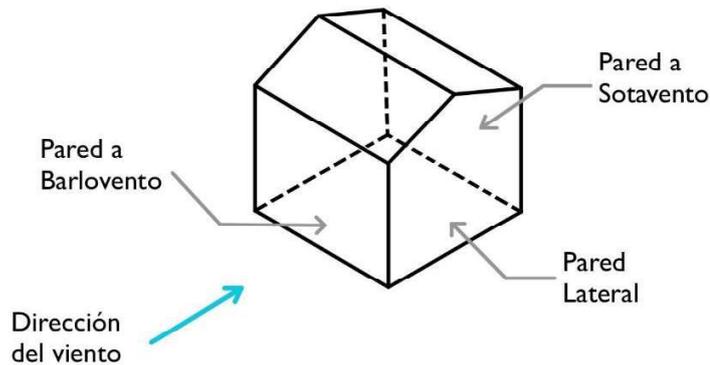
$$p_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2 \quad [1]$$

De donde se obtiene,

$$p_1 = \frac{1}{2}\rho V_2^2 \quad [2]$$

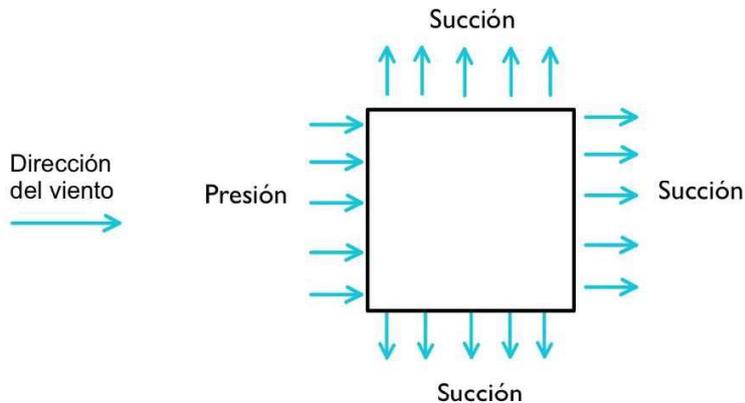
De la ecuación anterior, se observa que la presión está directamente relacionada con la velocidad de impacto de la masa del aire. Es importante considerar que la presión va a depender de la forma de la estructura en que impacte, ya que se van a alterar las líneas de flujo del viento.

Dependiendo de la orientación en que impacte el viento a la estructura, va a variar el efecto en cada superficie. Es por esto que se definen los nombres de las superficies con respecto a la dirección en que impacta el viento. La superficie en que impacta directamente el viento se denomina pared de barlovento, la pared contraria se denomina pared a sotavento, y las otras paredes son paredes laterales, esto se ejemplifica en la Figura 6.



**Figura 6.** Nombre de superficies con respecto a la dirección del viento

La presión puede actuar en dos direcciones tanto entrando al plano como saliendo del plano. Cuando el viento actúa hacia el plano, es decir sobre la pared a barlovento, la presión se considera positiva. En el caso que la presión actúa saliendo del plano, como lo es en las paredes laterales y la pared a sotavento, la presión es negativa, la cual se le conoce como succión (Figura 7). En el caso de los techos no se puede establecer la dirección en que actúa el viento de manera generalizada, ya que va a depender del ángulo de inclinación del techo



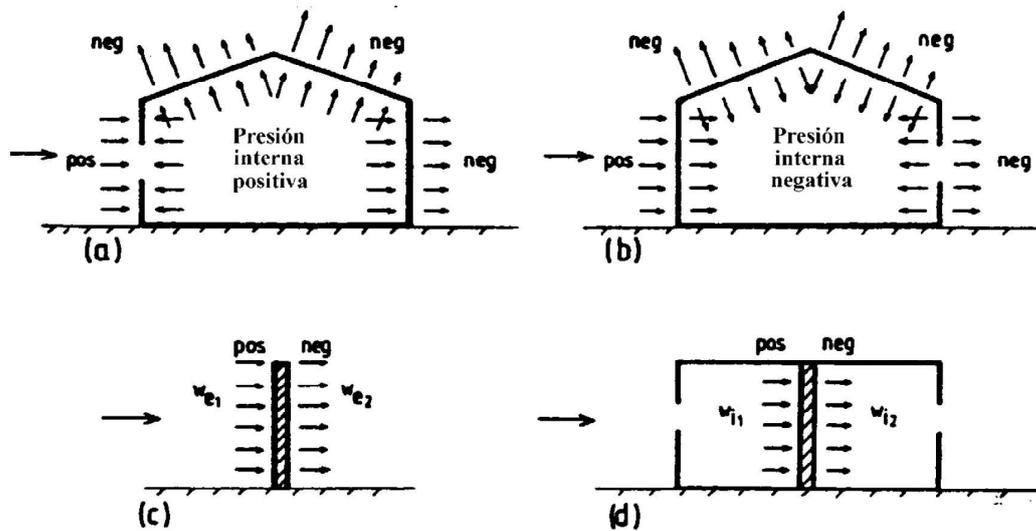
**Figura 7.** Vista en planta del efecto del viento sobre una estructura

La presencia de aberturas en las edificaciones genera tanto presión externa como interna. La presión interna se genera principalmente por la existencia de flujo de viento en el interior de la estructura debido a las aberturas, como se observa en la Figura 8. Estas presiones van a depender del tamaño y ubicación de las aberturas en la edificación. Existen tres configuraciones de las estructuras: abiertas, parcialmente cerradas y cerradas.

Según AEC (2003), una edificación abierta es aquella que todas las paredes presentan un 80% de aberturas. Y para el caso de las parcialmente cerradas se debe cumplir con los siguientes requisitos:

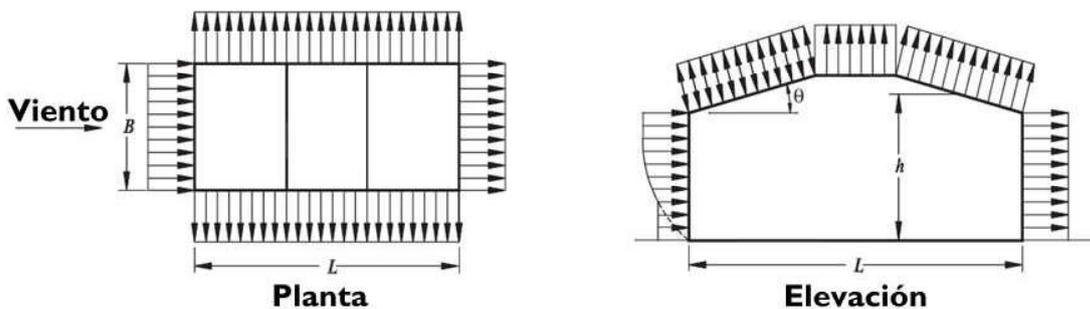
- El área total de las aberturas en una pared que recibe presión externa positiva es mayor que 1.1 veces el área de aberturas en toda la estructura.
- El área total de las aberturas en una pared que recibe presión externa positiva es mayor que el menor 0.37 m<sup>2</sup> o el 1 % del área gruesa de la misma pared en estudio.
- La suma de las áreas de aberturas alrededor de la estructura, sin incluir el área total de las aberturas de la pared en estudio, es mayor al 20% de la suma del área gruesa de la superficie alrededor de la estructura, sin incluir el área gruesa de la pared en estudio.

En el caso de no cumplir con los requisitos para clasificar la estructura como abierta o parcialmente cerrada, se deberá considerar la estructura como una estructura cerrada.



**Figura 8.** Vista en altura de la presión externa e interna del viento en la estructura  
**Fuente:** AENC, 1998.

La presión interna y externa actúan sobre las mismas superficies, por lo que se debe sumar ambas presiones para conocer el efecto de la misma. Esta suma se conoce como la presión neta (Figura 9). La presión neta puede ser positiva o negativa, si es positiva está actúa sobre la estructura, y en caso de ser negativa actúa saliendo de la estructura.



**Figura 9.** Presión neta generada por el viento en una estructura  
**Fuente:** ASCE7-16, 2016  
 Modificado por: Navas, 2020

La velocidad promedio del viento depende de la turbulencia del flujo. La velocidad es afectada por la turbulencia natural con que se aproxima el viento a la estructura, y la turbulencia provocada por la misma estructura. (Simiu and Scanlan, pag.111)

El flujo de viento genera presiones en todas las superficies externas de la estructura. Las

presiones actúan perpendicularmente a la superficie. Estas presiones presentan variaciones de magnitud a lo largo de las superficies, lo cual está ocasionado por las interrupciones del flujo.

La geometría de la estructura provoca interrupciones del flujo. El viento no puede girar en las esquinas, por lo que genera que el flujo se separe de la superficie en esos momentos, y provoque vórtices y zonas con presiones negativas. A mayor ángulo entre el flujo de viento y la superficie, mayor será el vacío, por lo tanto, mayor será la succión. De esta manera se explica porque para techos con pendientes muy bajas, prácticamente planas, los valores de succión son mayores. (ATC, pag 14).

### 3 Descripción de los códigos

#### 3.1 Descripción del Reglamento de Construcciones de Costa Rica Capítulo XX

A continuación, se realizará una descripción de la información del Reglamento de Construcciones de Costa Rica para la estimación de las cargas de viento.

##### 3.1.1 Cargas de Viento

Las normas aplicarán para toda construcción, excepto puentes, líneas de transmisión y otras que por su concepción estructural requieren un análisis específico que considere fuerzas de tipo vibraciones aeroelásticas.

Al realizar el diseño se deben considerar las cargas de viento antes y después de la construcción. El efecto del viento se debe considerar en los ejes principales de la estructura, en casos especiales puede ser necesario realizarse el análisis en otras direcciones.

La estructura y sus elementos deberán tener la capacidad suficiente para resistir las siguientes combinaciones:

Para concreto reforzado:

$$CU = 1.4CP + 1.7CT \quad [ 3 ]$$

$$CU = 0.75(1.4CP + 1.7CT) + CV \quad [ 4 ]$$

$$CU = 0.9CP \pm CT \quad [ 5 ]$$

Para acero estructural, adicionalmente se deberá cumplirse con las siguientes combinaciones:

$$CU = 1.1(CP + CT) \pm CV \quad [ 6 ]$$

$$CU = CP \pm CT \quad [ 7 ]$$

Donde:

CU = Efecto total que representa la acción combinada de las fuerzas gravitacionales y de viento que deben ser resistidas por la estructura.

CP = Efecto del peso propio y las cargas permanentes en la estructura.

CT = Efecto de la carga temporal o sobrecarga de la estructura.

CV = Efecto de la excitación del viento en la estructura.

### 3.1.2 Presión Básica del Viento

La presión o succión de viento es proporcional a la magnitud de la presión básica.

$$q = 0.005 \cdot V^2 \quad [ 8 ]$$

Donde:

q = presión básica en kg/m<sup>2</sup>.

V = velocidad máxima instantánea del viento, en km/h.

Para establecer la presión básica a alturas distintas de aquella en que fue medida la velocidad, se utiliza la siguiente fórmula:

$$q = q(h) \cdot a \quad [ 9 ]$$

Donde:

q(h) = presión a la altura h

h = altura a la que se mide la velocidad

a = coeficiente de rugosidad (0.16 en campos abiertos, frente al mar o lugares similares, y 0.28 en ciudades o lugares con rugosidad similar).

La velocidad, "V", máxima instantánea del viento deberá provenir de una estadística directa o indirecta, fidedigna en cuanto a los instrumentos usados y al periodo de observación.

Los valores mínimos de presión básica a utilizar en construcciones con una altura máxima de 100 metros son los siguientes:

**Cuadro 1.** Presión básica con respecto a la altura para construcciones situadas en la ciudad o lugares de rugosidad comparable

<b>Altura sobre el terreno (m)</b>	<b>Presión básica (kg/m<sup>2</sup>)</b>
0	55
15	75
20	85
30	95
40	105
50	110
75	120
100	130

Fuente: INVU, 1983.

**Cuadro 2.** Presión básica con respecto a la altura para construcciones en campo abierto frente al mar y sitios similares

<b>Altura sobre el terreno (m)</b>	<b>Presión básica (kg/m<sup>2</sup>)</b>
0	70
1	70
7	95
10	105
15	120
20	125
30	135
40	145
50	150
75	165
100	170

**Fuente:** INVU, 1983.

### 3.1.3 Métodos de Cálculo

En ningún caso, la presión básica determinada por algún método dinámico se aplicará con un valor inferior al 85% de la que resultaría al emplear el Cuadro 1 o el Cuadro 2. Tampoco conviene que sea superior al 130% de esos valores.

Los valores determinados a partir del Cuadro 1 o el Cuadro 2 se aumentarán en un 20% en los siguientes casos:

- En gargantas de cerros, en las que el viento pueda producir efectos Venturi que incrementen su velocidad.
- En cimas de cerros o promontorios.
- En bordes de barrancas.

**Cuadro 3.** Coeficientes según el uso de la estructura

<b>Grupo</b>	<b>Coeficiente</b>
A	1.2
B	1.0
C	0.7

**Fuente:** INVU, 1983.

Donde:

Grupo A: Edificios cuyo funcionamiento es vital bajo condiciones de emergencia.

Grupo B: Edificios para habitación, oficinas, edificios sujetos a concentración de personas con un área menor a 400 m<sup>2</sup>, construcciones que almacenen bienes costosos, edificios industriales excluyendo los del grupo A, tapias con alturas mayores a 2 m, y edificios cuya falla pone en

peligro otros edificios.

Grupo C: Construcciones aisladas y construcciones no permanentes. Edificaciones no clasificadas en los otros grupos.

La presión básica se aplicará con igual intensidad, cualquiera que sea la posición de la superficie afectada con respecto a la dirección del viento. Sin embargo, el valor del cálculo será el que resulte luego de aplicar a la presión básica los factores que se establecen en el Cuadro 3.

### 3.1.4 Superficie de cálculo

El área de las superficies sobre las que actúa el viento se determinará como sigue:

- Cuerpos limitados por superficies planas: El área verdadera.
- Cuerpos de sección transversal circular o aproximadamente circular ya sean de eje horizontal o vertical: El área correspondiente a la sección axial perpendicular a la dirección del viento.
- Varias superficies de techo yuxtapuestas, en un mismo edificio: El área total de la primera superficie azotada por el viento y el 50% del área de las superficies siguientes. Esta reducción se hará solo para el cálculo de las fuerzas que se transmiten a otros elementos de la estructura y para verificar la seguridad contra el volcamiento. El cálculo aislado de cada techo se hará considerando su área total. En todo caso, para que la reducción sea aplicable, la distancia entre planos de techo no podrá ser superior a dos veces su altura.
- Banderas y anuncios con telas firmemente fijadas: El área total.
- Banderas y anuncios de telas sueltas: 25% del área total.
- Elementos reticulares, compuestos de perfiles estructurales o de tubos: Área de proyección de las barras del enrejado sobre un plano vertical.

### 3.1.5 Factor de Forma

La fuerza del viento por unidad de superficie se obtiene multiplicando la presión básica "q" por un factor de forma "C", dependiente de las condiciones de forma total y de aberturas que tenga la obra en proceso de diseño. El factor "C" es positivo si la acción del viento produce presión y negativo si el efecto es de succión.

Si el área de las aberturas es inferior a 1/3 y superior a 1/5 del área total de la superficie expuesta, el factor de forma para la presión del viento que actúa de abajo hacia arriba,

perpendicularmente al plano del techo, variará linealmente desde 0 hasta los valores anotados, conforme varíen las aberturas.

**Cuadro 4.** Factor de forma según el tipo de estructura

<b>Tipo de Estructura</b>	<b>Factor de forma</b>
<b>Edificaciones cerradas de paredes planas:</b>	
Pared frente al viento	Presión 0.8
Pared del fondo	Succión 0.4
Techo frente al viento	1.2 sen (A-0.4)
Techo de fondos	Succión 0.4
<b>Edificaciones abiertas</b>	
Pared frente al viento	0.8
Pared en frente al viento	Succión 0.4
Pared de fondo	Presión 0.6. Succión 0.4
Paredes de los lados	Presión y Succión 0.4
Techos frente al viento	Presión 1.2 sen (A-0.4). Presión hacia arriba 0.8
Techos laterales y de fondo	Succión y Presión 0.4
Techos de fondo	Presión hacia arriba 0.8
<b>Muros aislados con altura inferior a 5 veces al ancho</b>	1.2
<b>Muros aislados de alturas mayores</b>	1.6
<b>Conductores eléctricos, cables, tuberías de gas para <math>d \cdot q^{1/2} &lt; 100</math></b>	0.7
<b>Chimeneas industriales, tuberías de gas para <math>d \cdot q^{1/2} &lt; 100</math></b>	0.7
<b>Estructuras reticuladas, superficies directamente expuestas</b>	1.6
<b>Estructuras reticuladas, superficies protegidas por reticulados semejantes</b>	0.083x
<b>Torres reticuladas de cuatro patas</b>	1.6 la frontal y 1.2 la posterior
<b>Torres reticuladas de tres patas</b>	1.6 la cara frontal y caras laterales 0.3

Fuente: INVU, 1983.

Donde:

A: Ángulo de pendiente

d: está en cm

q: está en  $\text{kg/m}^2$

x: La razón de distancia de la armadura analizada a la armadura que la protege, a la altura total de la armadura.

### 3.1.6 Fuerza del viento

La fuerza del viento sobre la edificación se determinará por la acción conjunto de presiones y succiones. El valor de la fuerza del viento se calcula de la siguiente manera:

$$F = q \cdot C \cdot A$$

[ 10 ]

Donde:

q: Presión básica en kg/m<sup>2</sup>

C: Factor de forma

A: Área expuesta en m<sup>2</sup>

## **3.2 Descripción LDVCR**

El LDVCR establece las solicitaciones mínimas para el análisis, diseño y construcción de edificaciones para resistir las acciones del viento, construidas en el territorio de la República de Costa Rica. Los lineamientos son aplicables al diseño o revisión de edificaciones nuevas o existentes de forma regular y en las cuales el efecto del entorno no es crítico para la respuesta de la estructura. Tienen el objetivo de proteger la vida humana y la integridad física de las personas, reducir los daños materiales y las pérdidas económicas ocasionadas por las acciones del viento.

### **3.2.1 Objetivos de desempeño**

Las edificaciones deben cumplir con ciertos objetivos de desempeño ante los efectos del viento, según el uso esperado de la edificación, los factores de riesgo asociados y la intensidad de la demanda. Por la naturaleza aleatoria del fenómeno eólico y las limitaciones inherentes al conocimiento del comportamiento de los materiales y edificaciones durante estos fenómenos, el cumplimiento de los objetivos de desempeño solo es alcanzable en términos probabilísticos.

#### **3.2.1.1 Categorías de diseño por viento**

Toda edificación debe ser clasificada según la importancia de su ocupación o función conforme a las categorías indicadas en el Cuadro 5, donde relaciona las categorías del LDVCR con las categorías del Código Sísmico de Costa Rica 2010 revisión 2014 (CSCR).

**Cuadro 5.** Clasificación de las edificaciones según ocupación e importancia

<b>Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente</b>	<b>Categoría de diseño por viento</b>
A	I Esencial
B y C	II Especial
D	III Normal
E	IV Miscelánea

**Fuente:** LDVCR, 2021

### 3.2.1.2 Niveles de demanda

Cada nivel de demanda se caracteriza por la intensidad de la ráfaga de viento esperada. Cada nivel se asocia a un periodo de retorno específico.

**Cuadro 6.** Periodo de retorno según nivel de demanda

<b>Nivel de demanda según intensidad de ráfaga</b>	<b>Período de retorno (<math>T_R</math>) en años</b>	<b>Recurrencia</b>	<b>Probabilidad de excedencia (PE) en 50 años (<math>N=50</math>)</b>
Baja	10-50	Frecuente	99.5% a 63.6%
Media	300	Ocasional	15.4%
Alta	700	Rara	6.9%
Muy Alta	1700	Muy Rara	2.9%

**Fuente:** LDVCR, 2021

Donde:

$T_R$ : Periodo de retorno en años

N: años

El periodo de retorno para cada nivel de demanda está relacionado con la probabilidad de excedencia y la vida útil mediante la siguiente ecuación:

$$T_R = \frac{1}{1 - (1 - PE)^{\frac{1}{N}}} \quad [ 11 ]$$

El nivel de demanda de intensidad baja se asocia con condiciones de servicio, mientras que las intensidades Media, Alta y Muy Alta se asocian a condiciones de resistencia última de los

elementos, componentes y uniones estructurales.

### 3.2.1.3 Niveles de Desempeño

#### 3.2.1.3.1 Niveles de desempeño de servicio (NDS)

Es el nivel de desempeño relacionado con la respuesta de las edificaciones y sus componentes estructurales y no estructurales ante la acción de cargas de servicio.

- *NDS Operación de servicio:* No hay ningún daño estructural, no hay daño en edificación en componentes estructurales y no estructurales.

#### 3.2.1.3.2 Niveles de desempeño últimos (NDU)

Es el nivel de desempeño relacionado con la respuesta de las edificaciones y sus componentes estructurales y no estructurales ante la acción de cargas de ultimas.

- *NDU-1 Completamente operativo:* el daño es mínimo en extensión y costo. La estructura puede ser ocupada y operar normalmente durante y después del evento. Reducción moderada en el confort de los ocupantes, pero sin peligro de lesiones o muerte.
- *NDU-2 Funcional:* el daño es moderado en extensión y costo. Localmente el daño puede ser significativo. Después del evento, es posible esperar alguna demora en la reocupación de la estructura.
- *NDU-3 Protección de vidas:* el daño es significativo en extensión y costo. Localmente el daño puede ser total. Se protege la vida de los ocupantes evitando el colapso total o parcial, así como la caída de escombros peligrosos. Después del evento, la demora en la reocupación de la edificación puede ser significativa.
- *NDU-4 Prevención de colapso:* El daño es grave. Se protege la vida de los ocupantes evitando el colapso total. Después del evento, hay señales visibles de peligro de colapso del sistema estructura, y no es posible reocupar la edificación.

#### 3.2.1.4 Objetivos de desempeño para diseño por viento

##### 3.2.1.4.1 Objetivos de desempeño requeridos

Todas las edificaciones deberán cumplir como mínimo con los objetivos de desempeño del Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Objetivos de desempeño

		Nivel de demanda			
		Baja	Media	Alta	Muy Alta
Categoría de diseño por viento	I Esencial	NDS	<i>nr</i>	<i>nr</i>	NDU-1
	II Especial	NDS	<i>nr</i>	<i>nr</i>	NDU-1
	III Normal	NDS	<i>nr</i>	NDU-1	<i>nr</i>
	IV Miscelánea	<i>nr</i>	NDU-2	<i>nr</i>	<i>nr</i>

Fuente: LDVCR, 2021

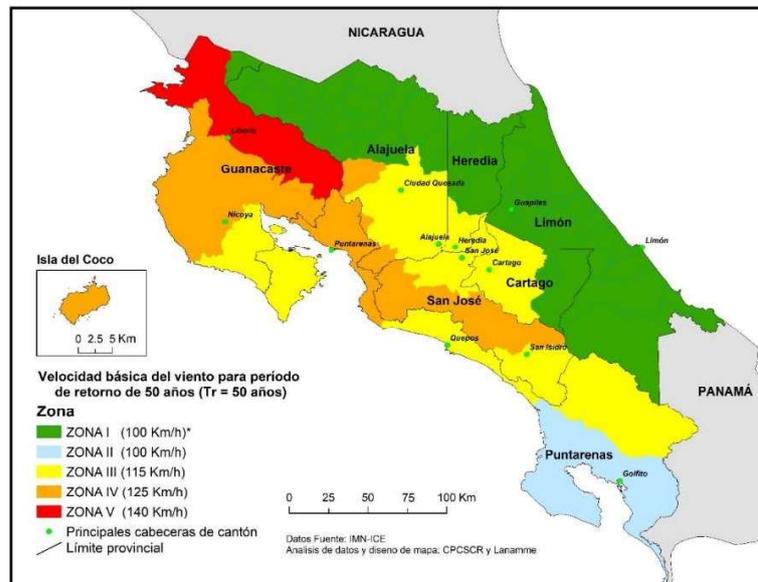
Donde:

*nr*: No requerida

### 3.2.2 Demanda por viento

#### 3.2.2.1 Velocidad básica del viento

Para el cálculo de la demanda por viento se debe iniciar por la determinación de la velocidad básica del viento. La velocidad básica del viento se define como la velocidad de ráfaga de 3 segundos a una altura de 10 m sobre el terreno en un sitio con categoría de exposición III para un periodo de retorno de 50 años, según LDVCR. La velocidad básica del viento se define a partir la zonificación mostrada en la Figura 10.



**Figura 10.** Zonificación eólica de Costa Rica

Fuente: LDVCR, 2021

Las velocidades básicas van desde los 100 km/h hasta los 140 km/h. Para la elaboración del mapa de zonificación eólica de Costa Rica, no se considera la magnitud de la velocidad del viento producida por tornados.

### 3.2.2.2 Presión básica del viento

A partir de la velocidad básica del viento se calcula la presión básica del viento por medio de la ecuación [ 12 ].

$$q_b = 0.005 \cdot V_b^2 \quad [ 12 ]$$

### 3.2.2.3 Presión de viento

A partir de la presión básica del viento se calcula la presión del viento, la cual se refleja en la ecuación [ 13 ]. En esta expresión se refleja la utilización de coeficientes con el fin de ajustar la presión de viento según la exposición de la estructura, la recurrencia, la topografía y la direccionalidad del viento.

$$q(z) = q_b C_e(z) C_r C_t C_d \quad [ 13 ]$$

Donde:

$q(z)$ : Presión de viento a la altura  $z$ .

$q_b$ : Presión básica del viento.

$C_e(z)$ : Coeficiente de exposición a la altura  $z$ .

$C_r$ : Coeficiente de recurrencia.

$C_t$ : Coeficiente topográfico.

$C_d$ : Coeficiente de direccionalidad.

#### 3.2.2.3.1 Coeficiente de exposición

El coeficiente de exposición está dado por la expresión [ 14 ]. El propósito de este coeficiente es realizar un ajuste debido a la exposición y la altura sobre el terreno. El valor del coeficiente de exposición está limitado a una altura sobre el terreno máxima de 200 m.

$$C_e(z) = 2.01 \left( \frac{z}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} \leq 2.01 \left( \frac{z_{min,e}}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} \quad [ 14 ]$$

Donde:

$z$ : Altura a la cual se evalúa la presión de viento medida a partir de la superficie del terreno. (m)

$z_{ge}$ : Altura de la capa límite. (m)

$\alpha_e$ : Parámetro de rugosidad.

$z_{(min,e)}$  : Altura mínima de presión constante. (m)

### 3.2.2.3.1.1 Categoría de exposición del sitio

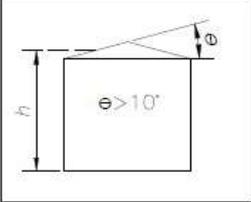
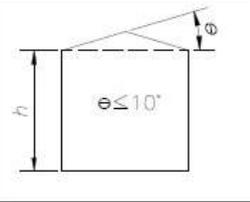
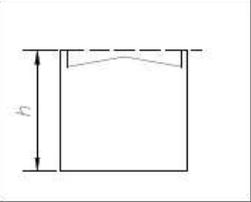
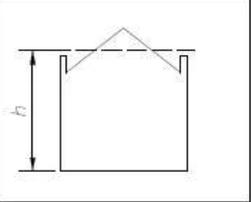
Para cada dirección de viento considerada el coeficiente de exposición debe calcularse. Para sitios en zonas de transición se aplicará las cargas de viento más altas.

**Cuadro 8.** Parámetros de exposición del sitio

<b>Categoría de exposición</b>	$\alpha_e$	$z_{ge}$ (m)	$z_{min,e}$ (m)	<b>Longitud de exposición <math>L_{exp}</math></b>	<b>Rugosidad predominante en sectores "viento arriba" (barlovento)</b>
<b>A</b>	5.0	457	16.00	máx (800 m, 10 h)	A
<b>B</b>	7.0	366	8.00	máx (800 m, 20 h)	B <sup>(1)</sup>
<b>C</b>	9.5	274	4.00	-	C <sup>(2)</sup>
<b>D</b>	11.5	213	2.00	máx (1500 m, 20 h)	D <sup>(3)</sup>

**Fuente:** LDVCR, 2021

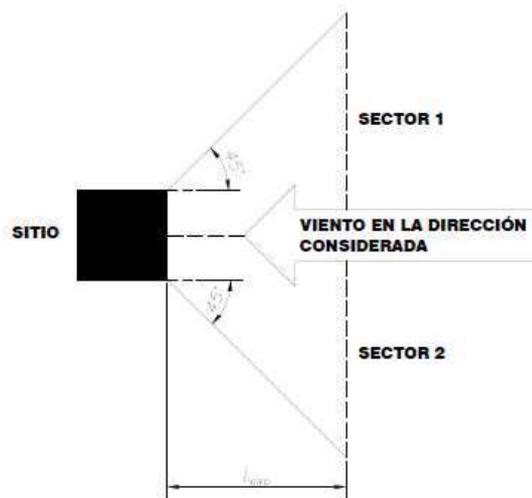
Para la determinación de la longitud de exposición del Cuadro 8, se debe determinar la altura  $h$ . La cual es la altura desde el nivel del terreno hasta la altura promedio del techo o la altura máxima del parapeto en caso de existir un parapeto. Se puede observar a continuación los casos para la determinación de  $h$  en la Figura 11.

			
<i>Ángulo de techo mayor a 10°.</i>	<i>Ángulo de techo menor o igual a 10°.</i>	<i>Parapeto mas alto que altura promedio de techo.</i>	<i>Parapeto mas bajo que altura promedio de techo.</i>

**Figura 11.** Definición de h  
**Fuente:** LDVCR, 2021

Para determinar la rugosidad se debe evaluar la exposición del sitio para dos sectores a 45 grados que se extienden a cada lado de la edificación (Figura 12) por una longitud de exposición determinada según el Cuadro 8. La rugosidad que resulte en las mayores cargas de viento será la utilizada para el diseño. Los tipos de rugosidad se exponen a continuación:

- **Rugosidad Tipo A:** Centros urbanos de gran tamaño, donde al menos el 50 % de las edificaciones tiene una altura mayor que 21 m.
- **Rugosidad Tipo B:** Áreas urbanas y suburbanas, bosques u otros terrenos con obstrucciones del tamaño de una casa de habitación unifamiliar o mayores cercanas entre sí.
- **Rugosidad Tipo C:** Áreas abiertas con obstrucciones dispersas, generalmente con alturas menores que 8 m; incluye terrenos planos abiertos, sabanas o pastizales.
- **Rugosidad Tipo D:** Áreas planas y libres de obstáculos o superficies de cuerpos de agua.



**Figura 12.** Sectores de rugosidad  
**Fuente:** LDVCR, 2021

### 3.2.2.3.2 Coeficiente de recurrencia

El coeficiente de recurrencia toma en cuenta el aumento o disminución de la velocidad del viento cuando se asocia con un periodo de retorno distinto a 50 años. Se define según el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Coeficiente de recurrencia

Zona Eólica	Condición	$C_r$
II, III, IV, V	Resistencia o Servicio	$C_r = [0,36 + 0,10 \ln(12T_R)]^2$
I	Servicio	$C_r = [0,36 + 0,10 \ln(12T_R)]^2$
	Resistencia	$C_r = 3$

**Fuente:** LDVCR, 2021

Donde:

TR: Periodo de retorno en años según Cuadro 6.

### 3.2.2.3.3 Coeficiente topográfico

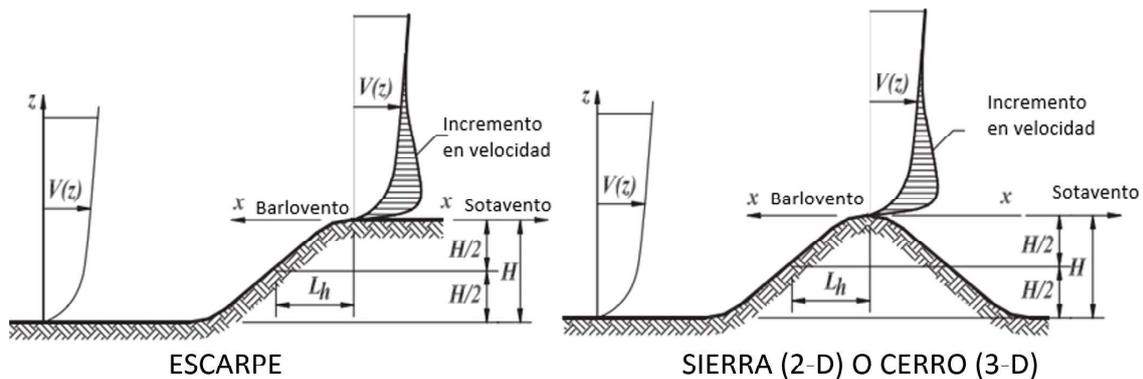
El coeficiente topográfico considera los efectos del cambio de la velocidad del viento debido a cambios repentinos de la topografía alrededor de la estructura. Estos se deben de incluir cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- El cerro, sierra o escarpe está aislado y libre de obstrucciones hacia barlovento por otras características topográficas similares por una distancia de 100 veces la altura del cerro, sierra o escarpe (100 H) o 3.2 kilómetros, el menor de los

dos valores. Esta distancia se medirá horizontalmente desde el punto en donde la altura H del cerro, sierra o escarpe se determina.

- El cerro, sierra o escarpe sobresale por encima de la altura de cualquier accidente geográfico hacia barlovento dentro de un radio de 3.2 kilómetros por un factor de 2 o más.
- La edificación está ubicada como muestra la Figura 13 en la mitad superior de la sierra o cerro o cerca de la cresta de un escarpe.
- $H/L_h \geq 0.2$
- H es mayor o igual a 4.5 metros para exposiciones C y D, y 18 metros para exposiciones A y B.

Donde H y  $L_h$  se definen en la Figura 13.



**Figura 13.** Definición de variables del coeficiente topográfico  
**Fuente:** LDVCR, 2021

El efecto de aceleración del viento se incluirá en el cálculo de las cargas de diseño utilizando el factor  $C_t$ :

$$C_t(z) = (1 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3)^2 \quad [ 15 ]$$

Donde  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$  se obtienen del Cuadro 10, y las ecuaciones [ 16 ] y [ 17 ].

**Cuadro 10.** Parámetros para la aceleración sobre sierra, cerros y escarpes

Topografía	C <sub>1</sub> / (H/L <sub>h</sub> )			γ	μ	
	Exposición				Barlovento	Sotavento
	B	C	D			
Sierra (2-D)	1.30	1.45	1.55	3	1.5	1.5
Escarpe (2-D)	0.75	0.85	0.95	2.5	1.5	4
Cerro (3-D)	0.95	1.05	1.15	4	1.5	1.5

Fuente: LDVCR, 2021

$$C_2 = \left(1 - \frac{|x|}{\mu \cdot L_h}\right) \quad [16]$$

$$C_3(z) = e^{\frac{-\gamma \cdot z}{L_h}} \quad [17]$$

#### 3.2.2.3.4 Coeficiente de direccionalidad

El propósito del coeficiente de direccionalidad es considerar la ocurrencia simultánea de la velocidad máxima en todas las direcciones en que se analice la estructura.

Este coeficiente considera la probabilidad de ocurrencia simultánea de la máxima velocidad del viento en todas las direcciones de análisis. En caso de analizar una condición de servicio el coeficiente debe considerarse como uno. Los coeficientes están dados por el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** Coeficiente de direccionalidad

<b>Tipo de edificación</b>	<b>Factor de direccionalidad, C<sub>d</sub></b>
<b>Edificaciones</b>	
Sistema Principal Resistente a Fuerza de Viento	0.85
Componentes y Revestimiento	0.85
Techos arqueados	0.85
<b>Chimeneas, Tanques, y Edificaciones Similares</b>	
Cuadradas	0.90
Hexagonales	0.95
Redondas	0.95
Muros y Señales macizas	0.85
Señales abiertas y Armaduras de celosía	0.85
<b>Torres de Armaduras</b>	
Triangulares, cuadradas, rectangulares	0.85
Todas las demás secciones transversales	0.95

Fuente: LDVCR, 2021

### 3.2.3 Presión neta para diseño

#### 3.2.3.1 Sistema Primario

A continuación, se mostrarán las distintas ecuaciones utilizadas para el cálculo de la presión neta según el tipo de estructura. Para el caso de edificios rígidos cerrados y parcialmente cerrados se utiliza la siguiente expresión:

$$p = qGCp - qi(GCpi) \quad [ 18 ]$$

Donde:

q: Presión externa de diseño en el elemento considerado igual a q(z) para pared a barlovento e igual a q(h) para pared a sotavento, paredes laterales y techos.

$C_p$ : Coeficiente de presión externa o factor de forma.

$G$ : Coeficiente de ráfaga para edificaciones rígidas.

$q_i$ : Presión interna de diseño en el elemento considerado tomada conservadoramente como igual a  $q(h)$  para la evaluación de la presión interna positiva y negativa.

$GC_{pi}$ : Coeficiente de presión interna.

Para el caso de Edificios flexibles cerrados o parcialmente cerrados se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$p = qG_f C_p - q_i(GC_{pi}) \quad [ 19 ]$$

Donde:

$G_f$ : Coeficiente de ráfaga para edificaciones flexibles.

En el caso de edificios abiertos de una sola pendiente o a dos aguas con cumbrera o invertidos se utiliza la siguiente expresión:

$$p = q(h)GC_N \quad [ 20 ]$$

Donde:

$q(h)$ : Presión de velocidad evaluada en  $h$ .

$G$ : Efecto de ráfaga.

$C_N$ : Coeficiente de presión neta.

La presión externa positiva en la superficie inferior de techos en voladizo a barlovento se determina usando  $C_p=0.8$  y combinándola con las presiones de la superficie superior determinadas en las Tablas A-2 y A-3 del LDVCR.

La presión de viento de diseño para evaluar el efecto de un parapeto en el sistema primario de un edificio rígido o flexible se determina como:

$$p_p = q_p GC_{pn} \quad [ 21 ]$$

Donde:

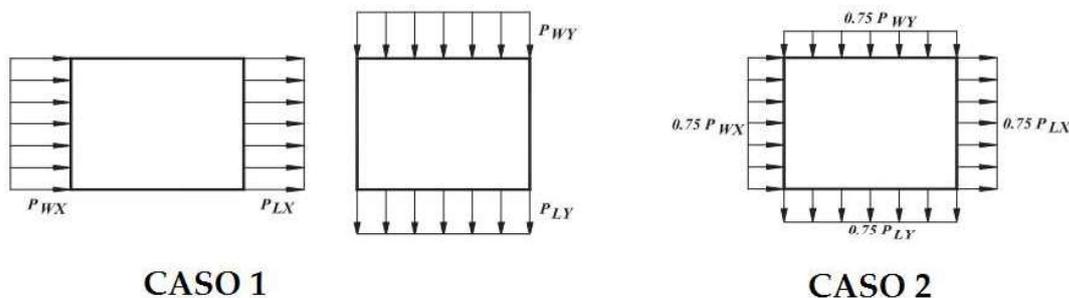
$p_p$ : Presión neta combinada en el parapeto debido a la combinación de presiones de las superficies frontal y trasera. El signo positivo (y negativo) significa presiones actuando hacia la

superficie frontal (saliendo de la superficie exterior) del parapeto.

$q_p$ : Presión de velocidad en el punto más alto del parapeto.

$GC_{pm}$ : Coeficiente de presión neto combinado. Usar +1.5 para parapeto a barlovento y -1.0 para parapeto a sotavento.

Para los sistemas primarios de las estructuras se deberán considerar como mínimo dos casos de carga de viento. El primer caso se considera que toda la presión de viento actúa sobre el área proyectada perpendicular a cada eje principal de la estructura, considerando cada eje principal por separado. Y para el segundo caso se aplican el 75% de las cargas de viento aplicadas en el primer caso, pero actúan simultáneamente en los ejes principales. Estos casos pueden observarse en la Figura 14.



**Figura 14.** Casos de carga de diseño  
Fuente: LDVCR, 2021

Además, deberá revisarse un caso de carga mínima que debe considerarse como una carga última. Esta carga debe ser aplicada para el diseño del sistema principal a la fuerza de viento de un edificio abierto, cerrado o parcialmente cerrado. La carga última por utilizar no debe ser menor a  $80 \text{ kg/m}^2$  multiplicado en un plano normal a la dirección del viento.

### 3.2.3.2 Otras edificaciones y adjuntos (accesorios) a edificios

Para el cálculo de la presión neta de muros y rótulos sólidos en voladizo se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$F = q(h)GC_fA_s \quad [ 22 ]$$

Donde:

$q(h)$ : Presión de velocidad evaluada en  $h$ .

$G$ : Efecto de ráfaga.

$C_f$ : Coeficiente de presión.

$A_s$ : Área bruta del muro o rótulo.

En el caso de componentes de otras edificaciones a como lo son las chimeneas, tanques, equipos a nivel de techo para edificios con una altura mayor a 18 m, rótulos abiertos y torres de estructura tipo cercha, se utiliza la ecuación [ 22 ].

Para edificaciones y equipos a nivel de techo para edificios con una altura menor a 18 m, la fuerza de diseño se calcula de la siguiente manera:

$$F_h = q(h)(GC_{rf})A_f \quad [ 23 ]$$

Donde:

B = dimensión horizontal de la edificación medida normal a la dirección del viento.

$(GC_{rf})$ : 1.9 cuando  $A_f < 0.1Bh$ , y puede reducirse linealmente de 1.9 a 1.0 conforme el valor de  $A_f$  crece de  $0.1Bh$  a  $Bh$ .

$q(h)$ : Presión de velocidad evaluada en la altura promedio de techo.

$A_f$ : Área vertical proyectada de la estructura en azotea o equipo en un plano normal a la dirección del viento.

Para el caso de componentes de edificios de edificaciones de una altura menor a 18 m se debe utilizar la siguiente expresión:

$$p = q(h)[GC_p - (GC_{pi})] \quad [ 24 ]$$

Donde:

$q(h)$ : Presión de velocidad evaluada a la altura h.

$GC_p$ : Coeficiente de presión externa.

$GC_{pi}$ : Coeficiente de presión interna.

La presión de diseño mínima para componentes de edificios no debe tomarse menor a una presión neta de  $80 \text{ kg/m}^2$  actuando en cualquier dirección a la superficie. Este caso de carga debe considerarse como una carga última.

Los coeficientes de presión externa y neta se pueden obtener del anexo A del LDVCR, mientras que el efecto de ráfaga se calcula a partir del anexo B del LDVCR.

### 3.2.4 Coeficientes de presión interna

El coeficiente de presión interna que considera el factor de ráfaga será determinado a partir

del Cuadro 12, según la clasificación de la estructura.

**Cuadro 12.** Coeficiente de presión interna para paredes y techos

<b>Clasificación por tipo de envolvente</b>	<b><math>GC_{pi}</math></b>
Edificaciones abiertas	0.00
Edificaciones parcialmente cerradas	+0.55
	-0.55
Edificaciones cerradas	+0.18
	-0.18

**Fuente:** LDVCR, 2021

### 3.2.5 Combinaciones de carga y factores de participación

Los sistemas estructurales y sus elementos, componentes o uniones deben tener una resistencia de diseño que cumpla con la expresión [ 25 ] para cada una de las combinaciones de carga.

$$R_d = \phi R_n \geq R_r \quad [ 25 ]$$

Donde:

$R_d$  = Resistencia de diseño

$R_n$  = Resistencia nominal

$\phi$  = factor de reducción de resistencia.

$R_r$  = Resistencia requerida.

#### 3.2.5.1 Combinaciones para obtener la carga última de diseño o resistencia requerida

Cada elemento, componente o unión de la edificación, y éste como unidad, debe tener capacidad para resistir las siguientes combinaciones de carga:

$$R_r = 1.2 (CP) + 1.6 (CTt) + (f1CTred \text{ o } 0.5 CV) \quad [ 26 ]$$

$$R_r = 1.2 (CP) + f1 CTred \pm CV + 0.5 (CTt) \quad [ 27 ]$$

$$R_r = 0.9 CP \pm CV \quad [ 28 ]$$

Donde:

CP = Efecto de las cargas permanentes.

CT = Efecto de las cargas temporales, sin la reducción indicada en el CSCR vigente

CT<sub>red</sub> = Efecto de las cargas temporales (excluyendo las cargas de techo), con la reducción  $f_R$

CT<sub>t</sub> = Efecto de las cargas temporales de techo.

CV = Efecto de las cargas de viento.

### 3.2.5.2 Combinaciones para obtener la carga de servicio

Para evaluar las condiciones de servicio para las cargas gravitacionales y de viento de una estructura y sus elementos, en LDVCR, se utiliza la combinación de carga mostrada a continuación:

$$R_r = CP + 0.5 CT \pm CV_s \quad [ 29 ]$$

Donde:

CP = carga permanente. Se puede tomar como la carga permanente que ocurre después de colocados los componentes no estructurales.

CT = carga temporal, sin la reducción indicada en el CSCR vigente.

CV<sub>s</sub> = carga de viento para un período de retorno de servicio.

### 3.2.6 Consideraciones de Seguridad y Servicio

Los desplazamientos horizontales en cada nivel y las derivas, o desplazamientos relativos entre pisos, se deben estimar para la combinación de carga de servicio. La carga de viento será calculada para los períodos de retorno de servicio. El desplazamiento lateral máximo en la parte superior de una edificación será H/400 de la altura de la edificación.

En edificaciones industriales de marcos de un solo nivel, con o sin mezanine, de menos de 18 m de altura máxima y con cargas permanentes de techo que no excedan 95 kg/m<sup>2</sup>, se podrán incrementar los límites de desplazamiento lateral hasta H/65 de la altura de la edificación.

## 4 Descripción de Estructuras Por Utilizar

### 4.1 Nave Industrial

#### 4.1.1 Descripción General

La nave industrial está conformada por seis marcos principales, con una altura promedio de 8.55 m, y con una luz libre de 30 m aproximadamente. Estos marcos están amarrados por medio de arriostramientos laterales, y tensores de techo. El techo de la nave industrial es a dos aguas, y además presenta columnas ubicadas en la línea de cerramiento de la nave. Algunas de sus propiedades geométricas se pueden observar en el Cuadro 13.

**Cuadro 13.** Propiedades geométricas de la nave industrial

Área de huella de la nave (m <sup>2</sup> )	1784
Longitud de la nave (m)	40.6
Luz de los marcos (m)	30
Separación entre marcos (m)	10.15
Cantidad de marcos	5
Altura de columnas (m)	6.5
Altura máxima (m)	9.05
Altura promedio (m)	7.76
Porcentaje de pendiente	15% (8.5°)
Largueros de techo	Perfil estructural Z 250 x 75 x 20x 2.4 mm
Separación entre largueros de techo (m)	1.125
Largueros de pared	Perfil estructural C 150 x 50 x 2.4 mm
Separación entre largueros de pared (m)	1.125
Tensores de Techo	Barra lisa roscada de $\Phi = 19.05$ mm
Tipo de cimentaciones	Placas Aisladas

Los materiales de los principales elementos estructurales se pueden observar en el Cuadro 14, mientras que las propiedades mecánicas de esos materiales se observan en el Cuadro 15.

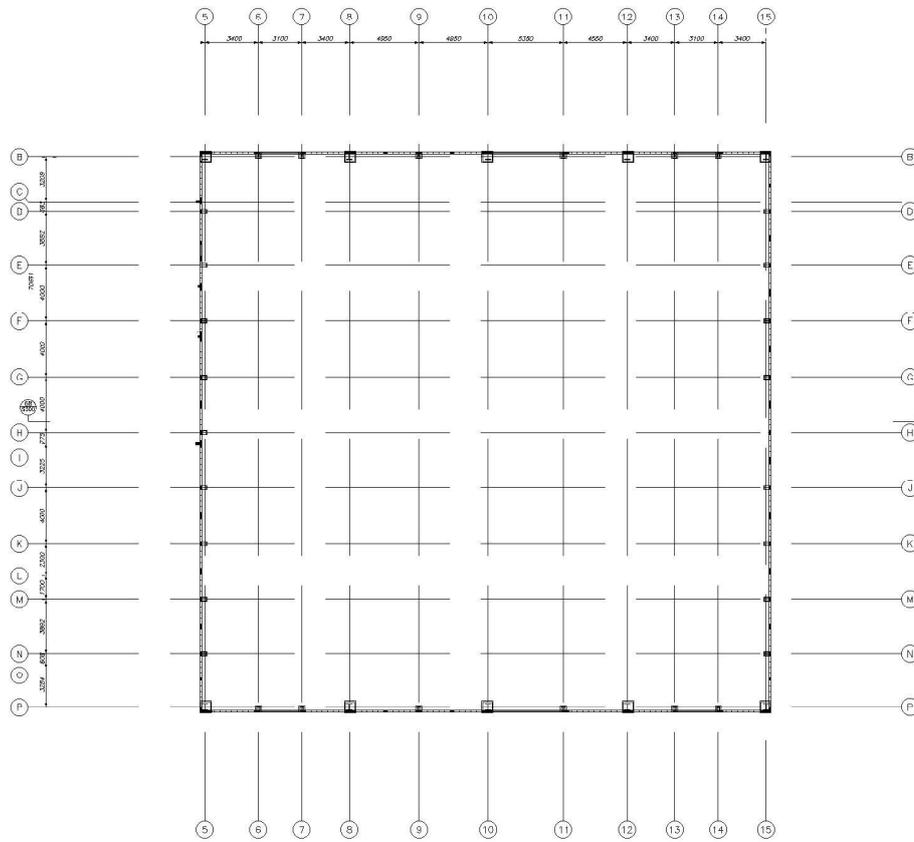
**Cuadro 14.** Materiales de elementos estructurales de la nave industrial

<b>Elemento</b>	<b>Material</b>
Columnas y vigas marco principal	Acero ASTM A36
Tubos TB-1	Acero G33
Vigas VA1	Acero ASTM A36
Tensoras	Acero ASTM A615 -40

Cuadro 15. Propiedades mecánicas según el material

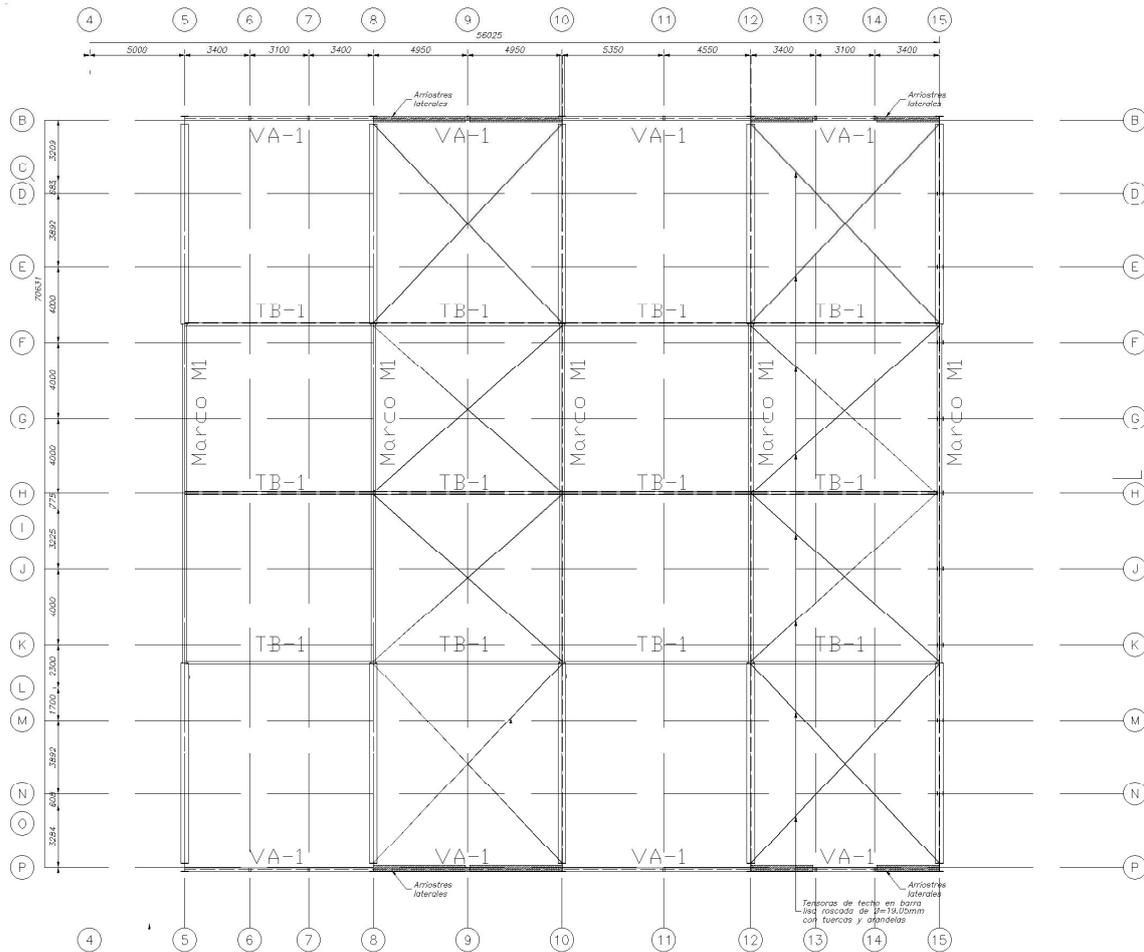
<b>Propiedad</b>	<b>Acero G33</b>	<b>Acero ASTM A36</b>	<b>Acero ASTM A615 -40</b>
Fy (kg/cm <sup>2</sup> )	2320	2530	2800
E (kg/cm <sup>2</sup> )	2.04E+06	2.04E+06	2.04E+06

A continuación, en la Figura 15, se presenta la planta estructural de columnas. Donde se tiene una planta de 30 m de ancho, y 40.6 m de largo.



**Figura 15.** Planta estructural de la nave industrial  
**Fuente:** FSA, 2015  
 Modificado por: Navas, 2021

En la Figura 16, se puede observar la planta de techos donde se describen los tipos de vigas y su ubicación en la nave industrial.

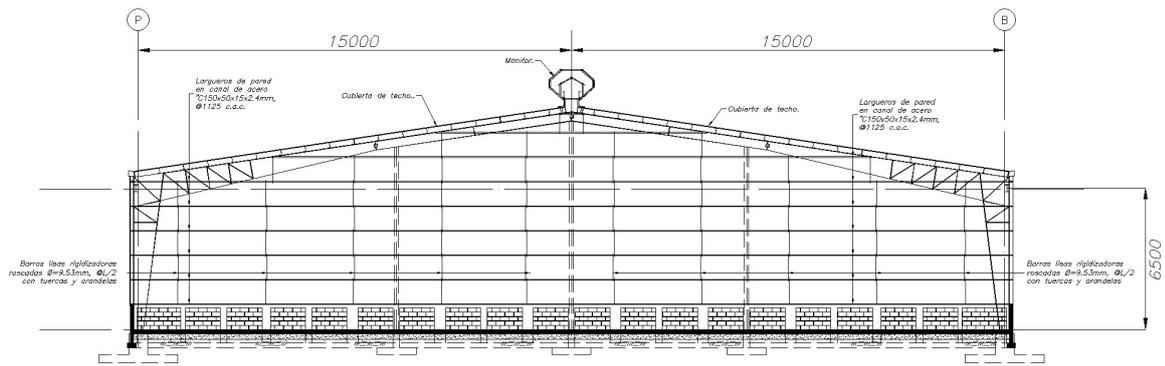


**Figura 16.** Planta estructural de vigas de techo y tipos de marco

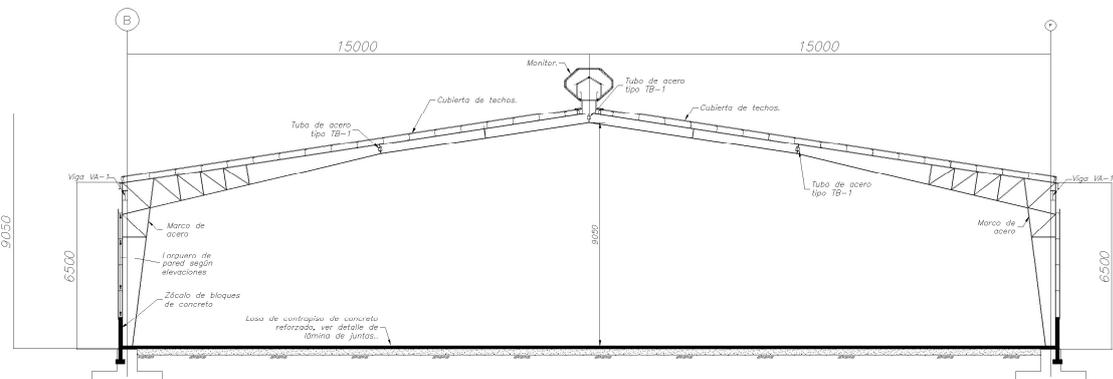
**Fuente:** FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021

Para el caso de la fachada frontal y el marco principal se puede apreciar en la Figura 17 y Figura 18, además se puede apreciar el cerramiento frontal y trasero de la nave industrial.

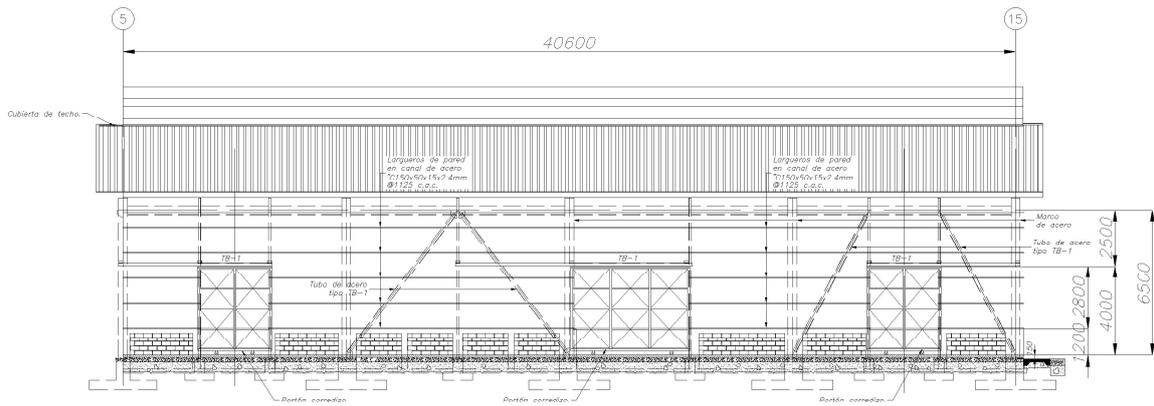


**Figura 17.** Fachada frontal de la nave industrial  
**Fuente:** FSA, 2015  
**Modificado por:** Navas, 2021



**Figura 18.** Marco principal interno de la nave industrial (Cotas en mm)  
**Fuente:** FSA, 2015  
**Modificado por:** Navas, 2021

Para el caso de las fachadas y cerramiento laterales se puede observar en la Figura 19.



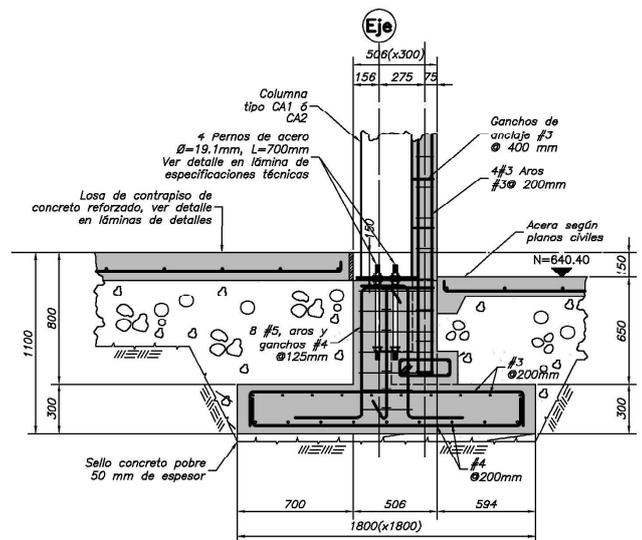
**Figura 19.** Fachada lateral de la nave industrial (Cotas en mm)

**Fuente:** FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021

#### 4.1.2 Apoyos

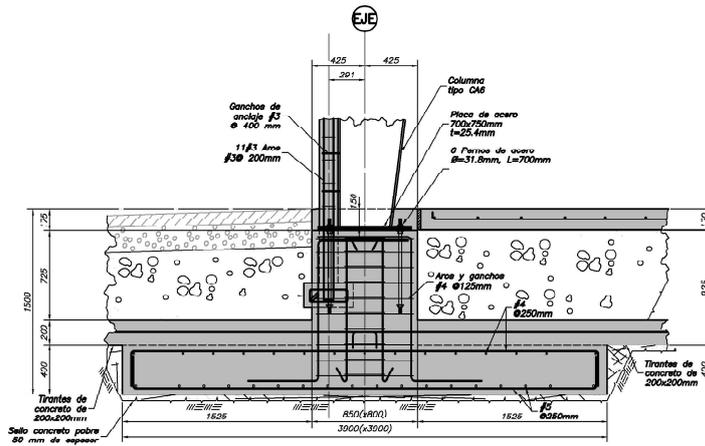
En el modelo existen dos tipos de apoyo. El primer tipo de apoyo es una articulación, Figura 20 , y está presente en los apoyos de las columnas de cerramiento. El otro apoyo es un semi empotramiento, Figura 21, representado por medio de resortes como restricción de desplazamiento y rotación, que se utiliza para el apoyo de columnas de los marcos principales. Ambos apoyos se pueden observar en el modelo de la Figura 22.



**Figura 20.** Apoyo articulado de la nave industrial (Cotas en mm)

**Fuente:** FSA, 2015

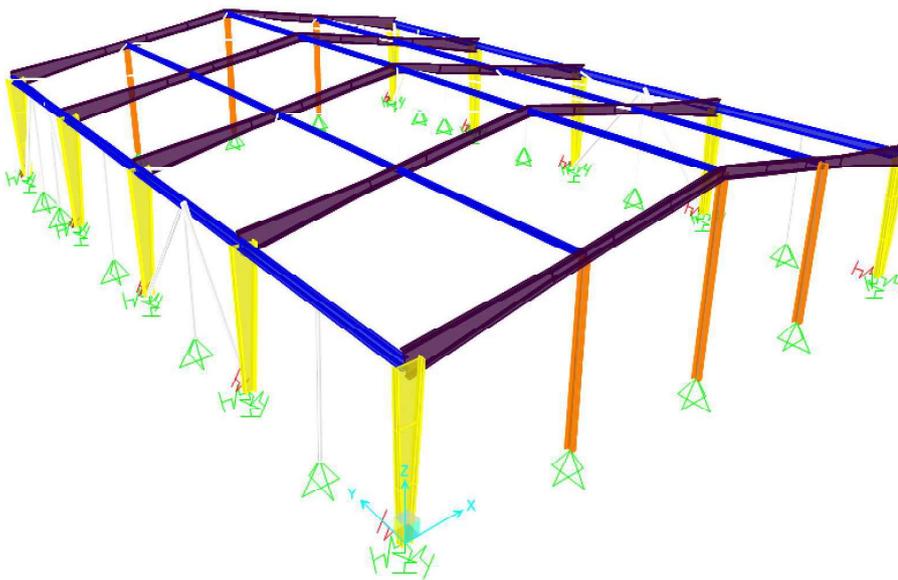
Modificado por: Navas, 2021



**Figura 21.** Apoyo semi empotrado de la nave industrial (Cotas en mm)

**Fuente:** FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021



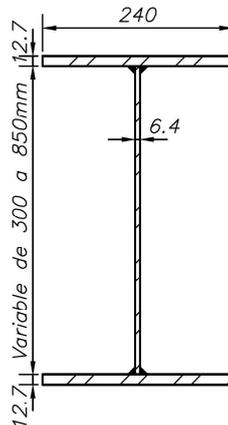
**Figura 22.** Vista 3D del modelo estructural de la nave industrial

**Fuente:** FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021

### 4.1.3 Descripción de los elementos

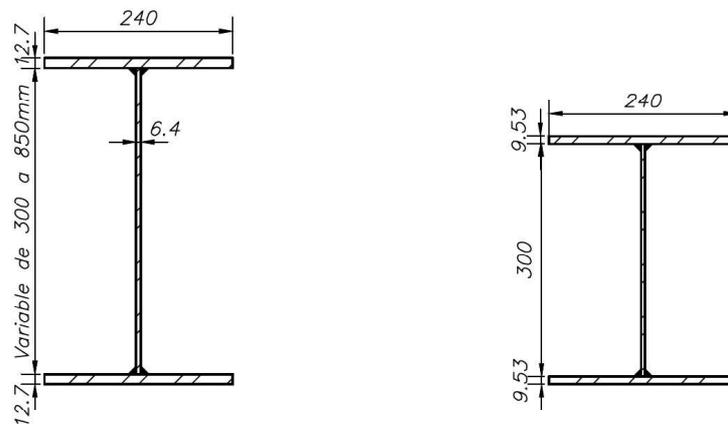
El marco principal de la nave industrial consiste en columnas y vigas acarteladas. Existen un solo tipo de marco. Se puede observar la columna en la Figura 23, y las vigas en la Figura 24.



**Figura 23.** Columna del marco M1 de la nave industrial (Cotas en mm)

**Fuente:** FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021



**Figura 24.** Vigas del marco M1 de la nave industrial (Cotas en mm)

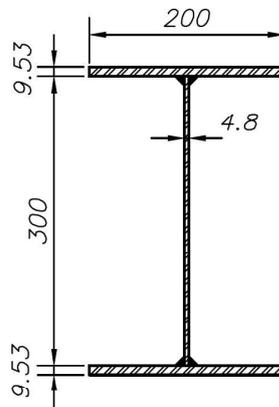
**Fuente:** FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021

La viga presenta un peralte variable al inicio, y después continúa como una viga de peralte constante de 400 mm, tal y como se observa en la Figura 18.

Para el caso de las riostras en diagonal y columnas de cerramiento en la fachada lateral de la nave industrial, observada en la Figura 19, son elementos cuadrados de 150 x 150 x 4.8 mm.

Y para el caso de las columnas de cerramiento de la Figura 17, se puede observar la sección en la Figura 25.

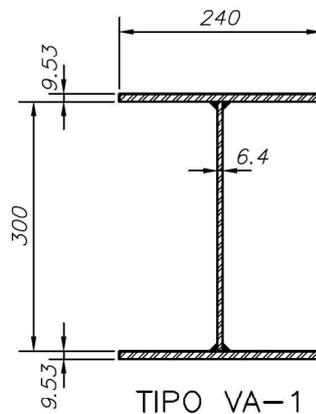


**Figura 25.** Sección columnas de cerramiento frontales y traseras (Cotas en mm)

**Fuente:** FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021

En la planta estructural de vigas de techo, Figura 16, se pueden observar dos tipos de vigas. Las vigas TB-1 que son elementos cuadrados de 150 x 150 x 4.8 mm, y vigas VA-1 (Figura 26).



**Figura 26.** Viga de techo tipo VA-1 de la nave industrial (Cotas en mm)

**Fuente:** FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021

#### 4.1.4 Conexiones entre elementos

Existen dos tipos de conexiones en el modelo denominadas articulación y conexión resistente a momento. Para la conexión de la viga y columna de los marcos principales y la conexión de

las vigas en la cúspide del mismo marco se determinó que es una conexión con resistencia a momento. Para el caso de las vigas de techo con los marcos principales se consideró que también son conexiones con resistencia a momento debido a que se está soldando a todo el alrededor, tanto el alma como las alas de las vigas.

La conexión de los tensores y riostras se consideró como articulaciones en ambos extremos. En el caso de las riostras estas son conectadas por medio de una placa soldada al alma de la columna y al tubo se le realiza una ranura en sus extremos para poder insertarlo en la placa colocada y, posteriormente se suelda el tubo a la placa. Este proceso se conoce como "sangrado". Para el caso de los tensores, estos están soldados a una placa acostada, la cual está soldada a las vigas de techo y vigas de los marcos principales.

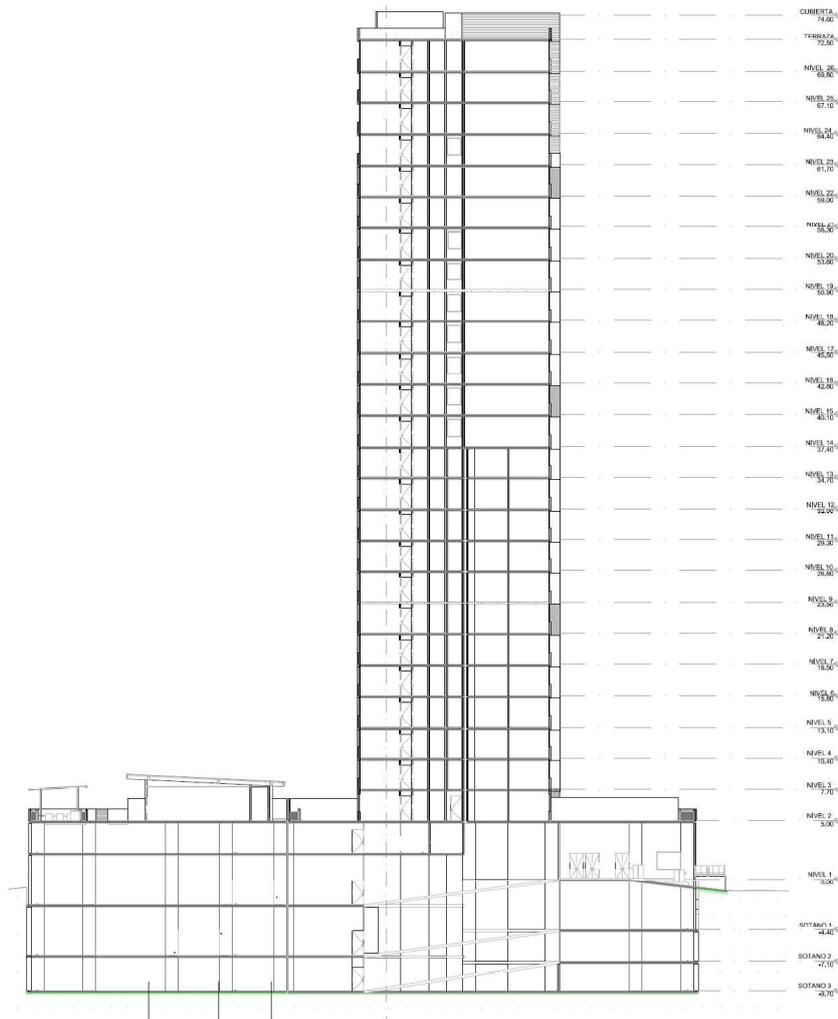
## 4.2 Ventanas de Edificio

Para el caso de estudio de ventanas, se va a utilizar un edificio con 27 niveles de elevación, y 3 sótanos. El edificio está compuesto por una plataforma en su parte inferior donde están los sótanos, y una torre para los niveles superiores, tal y como se observa en la Figura 27 y Figura 28. El edificio es de concreto reforzado en todos sus niveles, muestra ventanas en la mayor parte de su fachada.

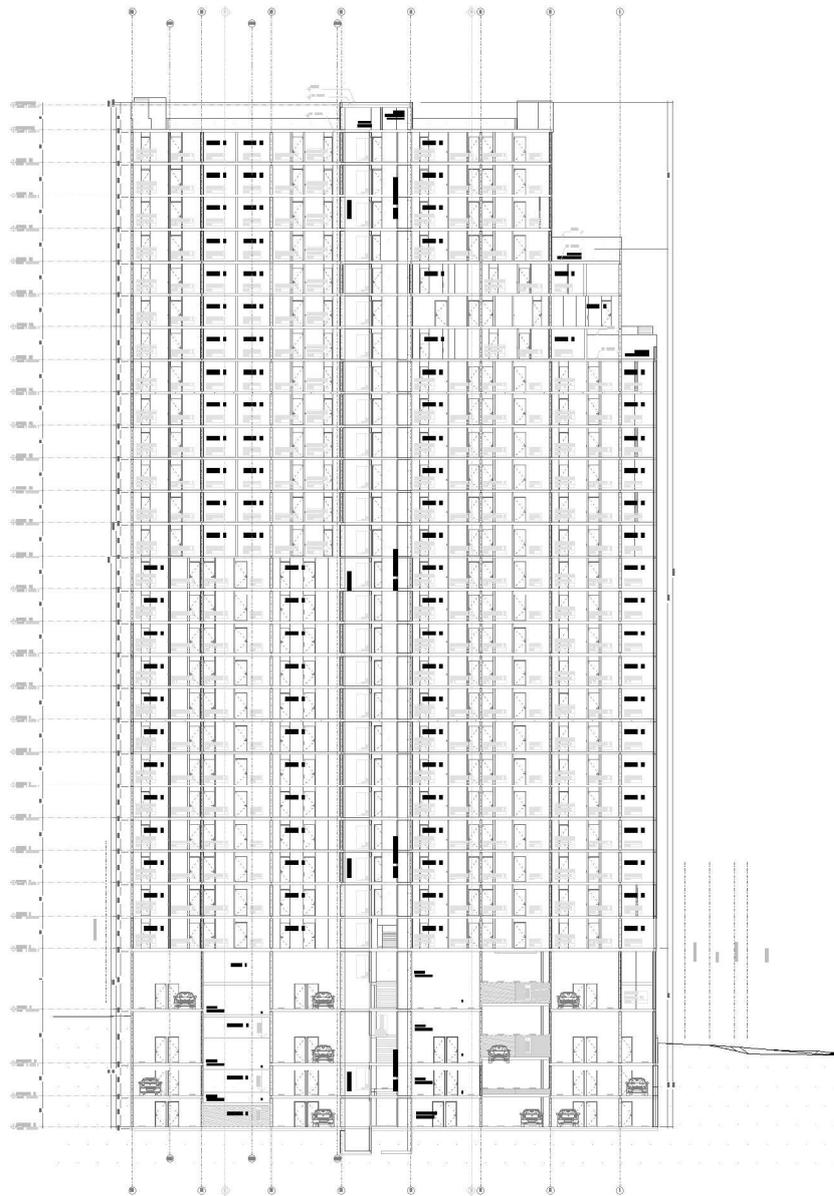
Las dimensiones de la torre y la plataforma se muestran en el Cuadro 16.

**Cuadro 16.** Propiedades geométricas del edificio

Altura sobre el terreno (m)	75.00
Ancho torre (m)	16.60
Largo torre (m)	43.10
Ancho plataforma (m)	57.55
Largo plataforma (m)	43.10



**Figura 27.** Fachada frontal del edificio de 75 m de altura  
**Fuente:** FSA, 2015  
 Modificado por: Navas, 2021



**Figura 28.** Elevación lateral de la torre del edificio en estudio

**Fuente:** FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021

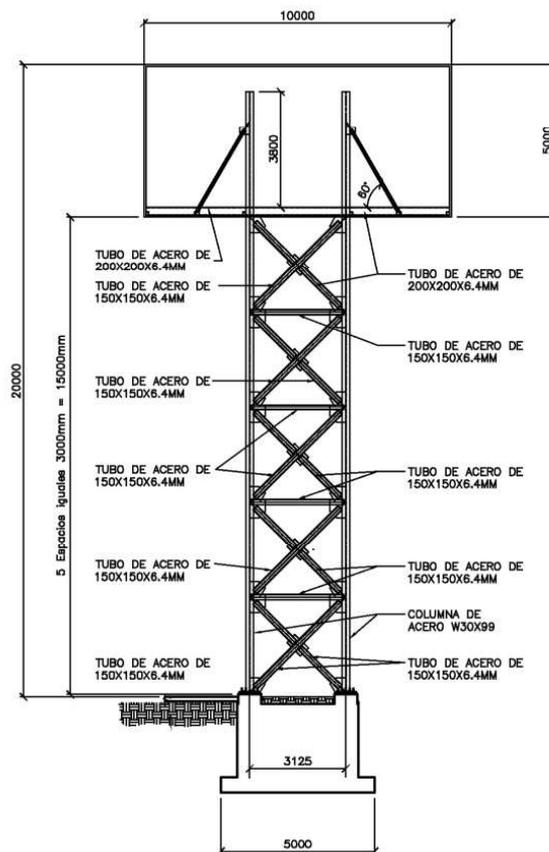
Las dimensiones de las ventanas se muestran en el Cuadro 17. En donde se pueden apreciar la altura y el ancho del buque en el edificio.

**Cuadro 17.** Propiedades geométricas de las ventanas

Altura (m)	2.5
Ancho (m)	2.65

### 4.3 Rótulo

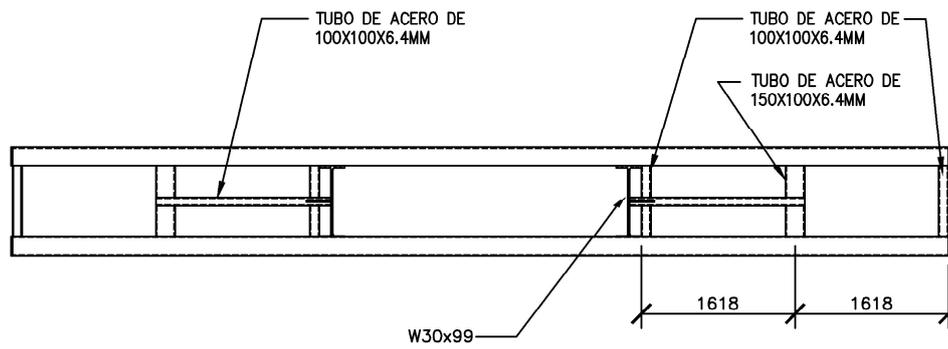
Con respecto a la estructura del rótulo, se utilizará un rótulo que está ubicado a 20 m sobre el nivel del piso. El rótulo presenta 5 m de altura y un ancho de 10 m, como se observa en la Figura 29. La estructura donde se apoya consiste en 2 vigas horizontales de tubos de 200 x 200 x 6.4mm. Estas vigas se conectan entre sí por medio de unos tubos cuadrados tal y como se observa en la Figura 30. Además, se conectan a 2 columnas W30x99 por medio de riostras diagonales tubos cuadrados 150 x 150 x 6.4mm. El flujo de la carga de viento va a ser del rótulo a las columnas verticales. La conexión de los diagonales y horizontales de la armadura se considerarán articulados, ya que presentan conexiones entre placas y tubos "sangrados". Los apoyos en la parte inferior de la estructura se considerarán como empotramientos.



**Figura 29.** Elevación estructural del rótulo

Fuente: FSA, 2015

Modificado por: Navas, 2021



**Figura 30.** Planta del rótulo  
**Fuente:** FSA, 2015  
 Modificado por: Navas, 2021

## 5 Comparación de metodologías y análisis de resultados

### 5.1 Definición de parámetros de comparación

Para el estudio se tuvo que determinar los parámetros comparables entre el Reglamento de Construcciones y el LDVCR. Estos parámetros son la rugosidad, ubicación, ocupación de la estructura y los tipos de estructura que consideran para la definición del coeficiente de forma o coeficiente de presión, según corresponda para cada metodología.

Para el caso del Reglamento de Construcciones se describen solamente dos tipos de rugosidad campo abierto y de ciudad. Mientras que para el LDVCR existen cuatro rugosidades A, B, C y D, pero en Costa Rica solo aplican las últimas tres. En el Cuadro 18 se observa la manera en que se consideró la comparación del parámetro de la rugosidad.

**Cuadro 18.** Comparación del parámetro de rugosidad entre metodologías

<b>LDVCR</b>	<b>Reglamento de Construcciones</b>
B	Ciudad
C	Ciudad y Abierto
D	Abierto

Para el parámetro de ubicación en el Reglamento de Construcciones no existe ningún tipo de clasificación, ya que solamente depende de la rugosidad. Sin embargo, en el LDVCR se presentan cinco posibles zonas con distinta velocidad básica de viento.

Y para el caso de la ocupación de una estructura el Reglamento de Construcciones presenta tres tipos de categorías: A, B y C; mientras que el LDVCR presenta cuatro categorías: I Esencial, II Especial, III Normal y IV Miscelánea. En el Cuadro 19 se observa la manera en que se consideró la comparación del parámetro de ocupación de la estructura.

**Cuadro 19.** Comparación del parámetro de ocupación de la estructura entre metodologías

<b>LDVCR</b>	<b>Reglamento de Construcciones</b>
I Esencial	A
II Especial	B
III Normal	B
IV Miscelánea	C

Finalmente, para el caso de los tipos de estructura que se consideran para la definición del coeficiente de forma o coeficiente de presión, según corresponda para cada metodología, se muestra en el Cuadro 20 los casos considerados para el desarrollo de este estudio.

**Cuadro 20.** Tipos de estructuras según la metodología

<b>Estructura</b>	<b>LDVCR</b>	<b>Reglamento de Construcciones</b>
Nave Industrial	Edificación cerrada:	Edificaciones cerradas de paredes planas:
	Muro a Barlovento	Pared frente al viento
	Muro a Sotavento	Pared de fondo
	Muro Lateral	-
	Techos	Techo frente al viento Techo de fondos
Rótulo	Muros Sólidos Autosoportantes y Señales	Muros Aislados de alturas mayores
Ventanería	Referencia Externa (Componentes y revestimientos para edificios mayores a 18 m ASCE7-16 Figura 30.5-1)	Edificaciones cerradas de paredes planas:
		Pared frente al viento
		Pared de fondo

A partir de lo anterior se definieron los parámetros generales de las estructuras en estudio para la estimación de cargas, tal y como se observa en el Cuadro 21. En este cuadro se resaltan las variables que cambian. Estos parámetros se seleccionaron con el propósito de realizar una comparación del efecto de la ubicación, rugosidad y ocupación de manera independiente. Para el caso de la nave industrial se analizará la rugosidad. Para el rótulo se decidió variar la ubicación de la estructura en tres zonas que presenten velocidad básica del viento distinta. Y, por último, para la ventanería se modificó la ocupación del edificio.

Es importante resaltar que para la nave industrial se realizó una modificación de la ubicación en los tres casos de estudio, pero todas esas ubicaciones presentan la misma velocidad básica del viento.

**Cuadro 21.** Zonas y parámetros base para las estructuras

<b>Estructura</b>	<b>Caso 1</b>			<b>Caso 2</b>			<b>Caso 3</b>		
	<b>Ubicación</b>	<b>Rugosidad</b>	<b>Ocupación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Rugosidad</b>	<b>Ocupación</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Rugosidad</b>	<b>Ocupación</b>
Nave Industrial	Liberia Sur	<b>B</b>	D	Nicoya	<b>C</b>	D	Samara	<b>D</b>	D
Rótulo	<b>Liberia Norte</b>	B	E	<b>San José</b>	B	E	<b>Limón</b>	B	E
Ventanería	San José	B	<b>A</b>	San José	B	<b>D</b>	-	-	-

En las siguientes secciones se detallan los análisis independientes de cada estructura contemplada en el estudio.

## 5.2 Nave Industrial

Las memorias de cálculo para la estimación de carga de la nave industrial se pueden consultar en el Apéndice C. Los resultados globales y desplazamientos fueron obtenidos a partir del modelo realizado en el software SAP 2000 v23.

### 5.2.1 Estimación de cargas

Como se había mencionado anteriormente, en la nave industrial el parámetro de interés es la rugosidad, por lo que se seleccionó B, C y D como las posibles rugosidades, ya que en Costa Rica no existe una rugosidad tipo A. Además, para el caso del Reglamento de Construcciones existen dos posibles rugosidades que son una rugosidad de ciudad, y otra rugosidad de campo abierto.

#### 5.2.1.1 LDVCR

A continuación, se pueden observar los parámetros utilizados para la estimación de carga para los distintos casos de estudio de la nave industrial para el LDVCR.

**Cuadro 22.** Parámetros para la estimación de cargas de la nave industrial según LDVCR

Caso	1	2	3
<b>Rugosidad</b>	B	C	D
<b>Ocupación</b>	Normal	Normal	Normal
<b>Nivel de demanda</b>	Alta	Alta	Alta
<b>Nivel de demanda de servicio</b>	Baja (10 años)	Baja (10 años)	Baja (10 años)
<b>Ubicación</b>	Liberia Sur	Nicoya	Samara
<b>Zona</b>	IV	IV	IV
<b>Velocidad básica de viento (km/h)</b>	125	125	125
<b>Presión básica de viento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	78.1	78.1	78.1
<b>Coefficiente de recurrencia</b>	1.6	1.6	1.6
<b>Coefficiente de recurrencia de servicio</b>	0.7	0.7	0.7
<b>z<sub>min,e</sub> (m)</b>	8	4	2
<b>Coefficiente de exposición evaluado en z<sub>min,e</sub></b>	0.67	0.83	0.89
<b>Coefficiente de exposición evaluado en h</b>	0.70	0.98	1.16
<b>Coefficiente de direccionalidad</b>	0.85	0.85	0.85
<b>Presión de viento evaluada en h (kg/m<sup>2</sup>)</b>	74.05	103.95	123.04

Se puede observar que los parámetros variantes son la rugosidad, el coeficiente de exposición y la presión de viento a la altura máxima de la estructura. En el caso de la rugosidad D es donde se presenta la mayor presión de viento debido a que es una exposición a cuerpos de

agua generando que no haya obstrucciones que afecten la velocidad del viento, mientras que en el caso de la rugosidad B sucede lo contrario.

Para la definición de la altura  $h$  se utilizó la altura máxima de la estructura. Esto se realizó con base en la información de la Figura 11, donde establece que, para estructuras con un techo de una inclinación menor a 10 grados, se debe utilizar la altura máxima. Otra consideración importante es el coeficiente topográfico, este se consideró con un valor de uno para todos los casos. Y, por último, se consideró la estructura como una edificación baja, ya que es menor a 18 m, por lo tanto, el efecto de ráfaga se puede considerar como 0.85.

En el análisis de los techos usando el LDVCR se pueden observar dos casos de carga. El primer caso de carga presenta coeficientes de succión altos para revisar la succión en el techo, pero el segundo caso de carga muestra un coeficiente constante de 0.18 con el propósito de representar una posible presión en el techo al sumar o restar la presión interna.

La presión de viento mínima según el LDVCR es  $80 \text{ kg/m}^2$ , este parámetro se debe considerar como un caso de carga última. En el Cuadro 23 se observa la demanda mínima obtenida con los valores de cortante en dirección X y Y.

**Cuadro 23.** Cálculo de presión mínima según el LDVCR

<b><math>q_{\min}</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	80
<b><math>A_{fx}</math> (m<sup>2</sup>)</b>	263.90
<b><math>V_x</math> (ton)</b>	21.11
<b><math>A_{fy}</math> (m<sup>2</sup>)</b>	0.23
<b><math>V_y</math> (ton)</b>	18.66

### 5.2.1.2 Reglamento de Construcciones

Para el caso del Reglamento de Construcciones solo existen dos tipos de rugosidad. Por lo tanto, se clasificaron los tres casos según la descripción del LDVCR para el Reglamento de Construcciones.

**Cuadro 24.** Parámetros para la estimación de cargas de la nave industrial según Reglamento de Construcciones

<b>Caso</b>	1	2	3
<b>Rugosidad</b>	Ciudad o Similar	Ciudad o Similar	Campo Abierto
<b>Ocupación</b>	B	B	B
<b>Clasificación de estructura</b>	Cerrada	Cerrada	Cerrada
<b>Presión de viento evaluada en <math>h</math> (kg/m<sup>2</sup>)</b>	67.1	67.1	101.8

A partir del Cuadro 24 se puede observar que el caso uno y dos serán iguales, mientras que el tercer caso se utilizará una presión básica de viento superior, debido a su exposición.

### 5.2.1.3 Comparación de estimación de cargas entre metodologías

**Cuadro 25.** Diferencia entre presión de viento evaluada en h entre metodologías

<b>Comparación</b>	<b>LDVCR</b>	<b>RC</b>	<b>Porcentaje de diferencia</b>
B y Ciudad	74.5	67.1	9.9
C y Ciudad	103.95	67.1	35.4
C y Campo Abierto	103.95	101.8	2.1
D y Campo Abierto	123.04	101.8	17.3

Del Cuadro 25, se puede observar que para todos los casos de rugosidad se obtuvo mayor presión de viento para el LDVCR. Para una rugosidad B del LDVCR y una rugosidad de ciudad del Reglamento de Construcciones se obtuvo una diferencia de 9.9%, mientras que para el caso de una rugosidad C con una rugosidad de campo abierto se obtuvo una diferencia del 17.3%.

## 5.2.2 Estimación de reacciones globales

### 5.2.2.1 LDVCR

A continuación, se pueden observar las reacciones globales para los distintos casos de rugosidad. Existen ocho tipos de carga. Los tipos de carga dependen de la dirección de carga y los casos de carga.

Existen dos tipos de coeficientes para techos, tal y como se observa en el Anexo A, por lo que existe el caso A y el caso B. Además, se considera la presión neta obtenida al sumar y restar la presión interna, y, por último, las direcciones de carga fueron consideradas en el sentido transversal (X) y longitudinal (Y) de la nave industrial. La distribución de carga en el marco principal de la nave industrial para cada dirección y caso de carga se puede observar en el Apéndice A.

**Cuadro 26.** Reacciones globales de la nave industrial con rugosidad B según LDVCR

Reacciones Globales	Rugosidad B								Rige
	Caso A				Caso B				
	Xa-1	Xa-2	Ya-1	Ya-2	Xb-1	Xb-2	Yb-1	Yb-2	
Cortante X (ton)	-20.8	-20.7	0.0	0.0	-20.8	-20.7	0.0	0.0	-20.8
Cortante Y (ton)	0.0	0.0	-18.4	-18.3	0.0	0.0	-18.4	-18.3	-18.4
Reacción vertical Z (ton)	-25.5	-58.4	-22.4	-55.3	2.5	-30.5	2.5	-30.5	-58.4
Momento X (ton-m)	-516.9	-1185.6	-185.8	-853.9	50.2	-619.5	122.7	-547.3	-1185.6
Momento Y (ton-m)	161.3	655.2	336.4	830.2	-104.6	390.5	-37.1	457.7	830.2

**Cuadro 27.** Reacciones globales de la nave industrial con rugosidad C según LDVCR

Reacciones Globales	Rugosidad C								Rige
	Caso A				Caso B				
	Xa-1	Xa-2	Ya-1	Ya-2	Xb-1	Xb-2	Yb-1	Yb-2	
Cortante X (ton)	-27.2	-27.3	0.0	0.0	-27.2	-27.3	0.0	0.0	-27.3
Cortante Y (ton)	0.0	0.0	-24.4	-24.5	0.0	0.0	-24.4	-24.5	-24.5
Reacción vertical Z (ton)	-35.8	-81.8	-31.5	-77.5	3.5	-42.7	3.5	-42.7	-81.8
Momento X (ton-m)	-727.3	-1661.1	-264.6	-1198.2	70.5	-867.8	168.1	-769.7	-1661.1
Momento Y (ton-m)	232.0	922.1	473.0	1162.9	-141.4	551.4	-52.1	641.2	1162.9

**Cuadro 28.** Reacciones globales de la nave industrial con rugosidad D según LDVCR

Reacciones Globales	Rugosidad D								Rige
	Caso A				Caso B				
	Xa-1	Xa-2	Ya-1	Ya-2	Xb-1	Xb-2	Yb-1	Yb-2	
Cortante X (ton)	-32.1	-32.2	0.0	0.0	-32.1	-32.2	0.0	0.0	-32.2
Cortante Y (ton)	0.0	0.0	-28.8	-28.9	0.0	0.0	-28.8	-28.9	-28.9
Reacción vertical Z (ton)	-42.3	-97.3	-37.2	-92.2	4.1	-50.7	4.1	-50.7	-97.3
Momento X (ton-m)	-859.2	-1975.5	-311.7	-1423.4	83.3	-1028.3	199.5	-911.6	-1975.5
Momento Y (ton-m)	272.9	1094.7	558.7	1383.0	-168.4	652.6	-61.5	759.8	1383.0

Con el fin de comparar las reacciones globales de cortante calculadas con el LDVCR con respecto a la carga mínima establecida por este mismo lineamiento, en el Cuadro 29 se compara la magnitud del cortante obtenido con el resto de los casos, a pesar de que la presión mínima es una carga última, y la carga de los casos de rugosidades B, C y D son solo una parte de las combinaciones últimas. Se puede observar que el cortante X y Y del caso mínimo son mayores que los del caso de rugosidad B, pero inferiores que los cortantes obtenidos en los casos de rugosidad C y D en ambas direcciones.

**Cuadro 29.** Comparación de cortante para cada rugosidad con el caso de presión mínima del LDVCR

<b>Caso</b>	<b>Cortante X (ton)</b>	<b>Cortante Y (ton)</b>
Carga Mínima	21.11	18.66
Rugosidad B	20.77	18.43
Rugosidad C	27.34	24.51
Rugosidad D	32.16	28.87

### 5.2.2.2 Reglamento de Construcciones

Para el Reglamento de Construcciones se observan menor cantidad de casos de carga. Esto se debe a que solo existe un coeficiente de forma para cargar la estructura, y, además, no se suma ni resta la presión interna debido al viento en la estructura.

**Cuadro 30.** Reacciones globales de la nave industrial situada en ciudad según el Reglamento de Construcciones

<b>Reacciones Globales</b>	<b>Rugosidad ciudad</b>		<b>Rige</b>
	<b>Xa-1</b>	<b>Ya-1</b>	
Cortante X (ton)	-21.2	0.0	-21.2
Cortante Y (ton)	0.0	-18.8	-18.8
Reacción vertical Z (ton)	-28.9	-24.7	-28.9
Momento X (ton-m)	-586.9	-428.0	-586.9
Momento Y (ton-m)	396.1	370.6	396.1

**Cuadro 31.** Reacciones globales de la nave industrial situada en campos abiertos según el Reglamento de Construcciones

<b>Reacciones Globales</b>	<b>Rugosidad campo abierto</b>		<b>Rige</b>
	<b>Xa-1</b>	<b>Ya-1</b>	
Cortante X (ton)	-32.3	0.0	-32.3
Cortante Y (ton)	0.0	-28.6	-28.6
Reacción vertical Z (ton)	-43.9	-37.6	-43.9
Momento X (ton-m)	-891.6	-650.5	-891.6
Momento Y (ton-m)	601.5	563.4	601.5

### 5.2.2.3 Comparación entre LDVCR y Reglamento de Construcciones

A continuación, se presentan los resultados de la comparación de las reacciones globales entre el LDVCR y el Reglamento de Construcciones en el Cuadro 32, el Cuadro 33, Cuadro 34 y Cuadro 35 obtenidos a partir del modelo realizado en el software SAP 2000 v23.

**Cuadro 32.** Comparación de resultados globales de LDVCR y Reglamento de Construcciones para la nave industrial con una rugosidad B

Reacciones Globales	LDVCR	RC	Porcentaje de diferencia
	Rugosidad B	Rugosidad ciudad	
Cortante X (ton)	-20.8	-21.2	-2.3%
Cortante Y (ton)	-18.4	-18.8	-1.9%
Reacción vertical Z (ton)	-58.4	-28.9	50.5%
Momento X (ton-m)	-1185.6	-586.9	50.5%
Momento Y (ton-m)	830.2	396.1	52.3%

**Cuadro 33.** Comparación de resultados globales de LDVCR y Reglamento de Construcciones para la nave industrial con una rugosidad C contra rugosidad de ciudad

Reacciones Globales	LDVCR	RC	Porcentaje de diferencia
	Rugosidad C	Rugosidad ciudad	
Cortante X (ton)	-27.3	-21.2	22.3%
Cortante Y (ton)	-24.5	-18.8	23.4%
Reacción vertical Z (ton)	-81.8	-28.9	64.7%
Momento X (ton-m)	-1661.1	-586.9	64.7%
Momento Y (ton-m)	1162.9	396.1	65.9%

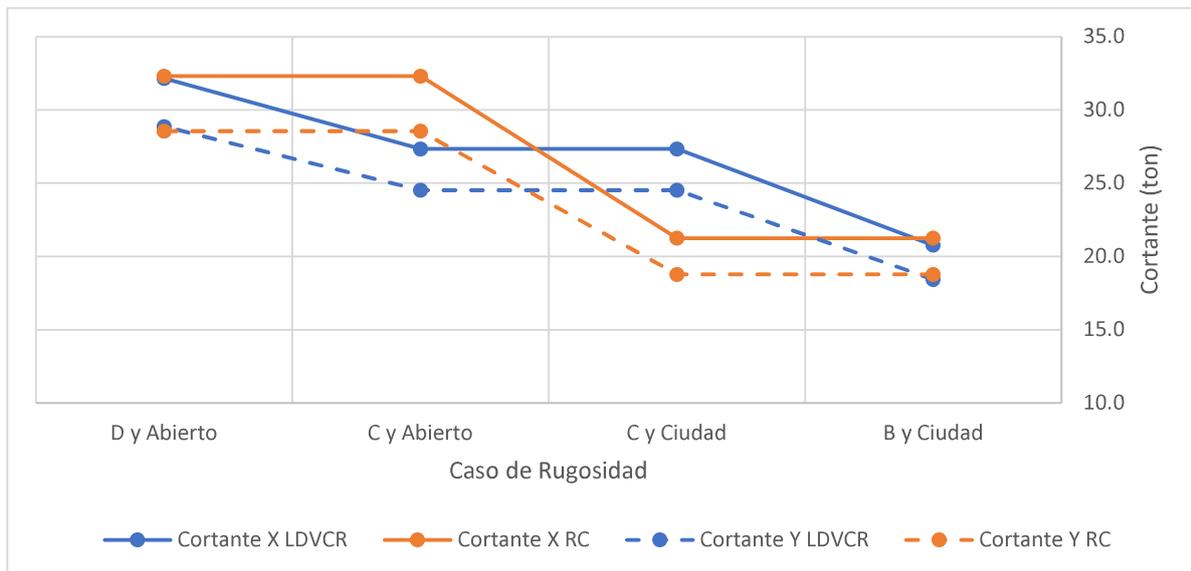
**Cuadro 34.** Comparación de resultados globales de LDVCR y Reglamento de Construcciones para la nave industrial con una rugosidad C contra rugosidad de campo abierto

Reacciones Globales	LDVCR	RC	Porcentaje de diferencia
	Rugosidad C	Rugosidad campo abierto	
Cortante X (ton)	-27.3	-32.3	-18.2%
Cortante Y (ton)	-24.5	-28.6	-16.5%
Reacción vertical Z (ton)	-81.8	-43.9	46.3%
Momento X (ton-m)	-1661.1	-891.6	46.3%
Momento Y (ton-m)	1162.9	601.5	48.3%

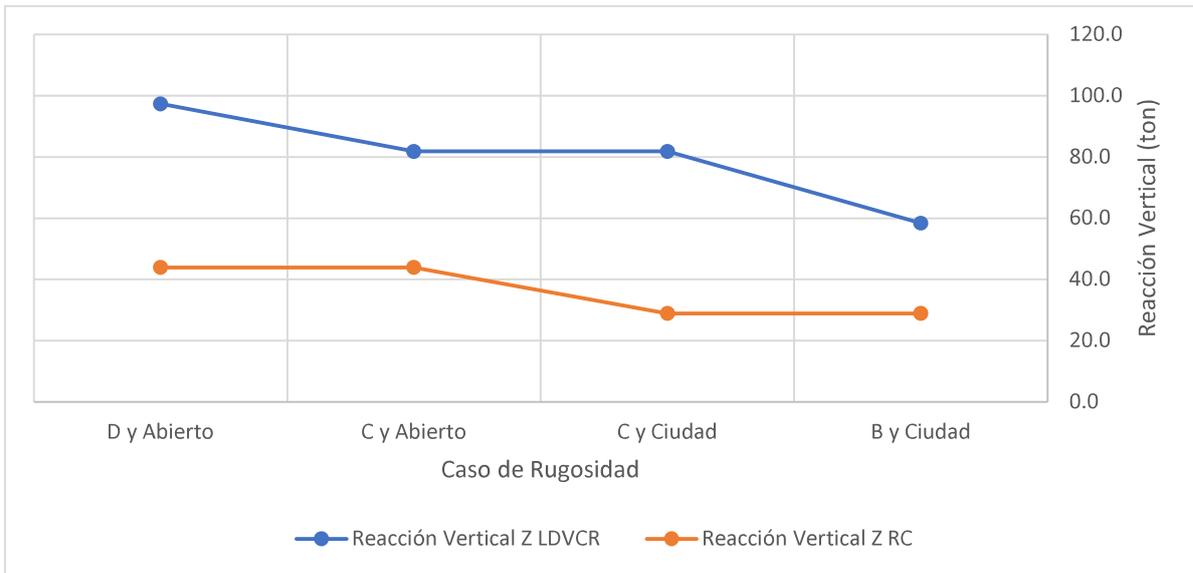
**Cuadro 35.** Comparación de resultados globales de LDVCR y Reglamento de Construcciones para la nave industrial con una rugosidad D

Reacciones Globales	LDVCR	RC	Porcentaje de diferencia
	Rugosidad D	Rugosidad campo abierto	
Cortante X (ton)	-32.2	-32.3	-0.5%
Cortante Y (ton)	-28.9	-28.6	1.1%
Reacción vertical Z (ton)	-97.3	-43.9	54.9%
Momento X (ton-m)	-1975.5	-891.6	54.9%
Momento Y (ton-m)	1383.0	601.5	56.5%

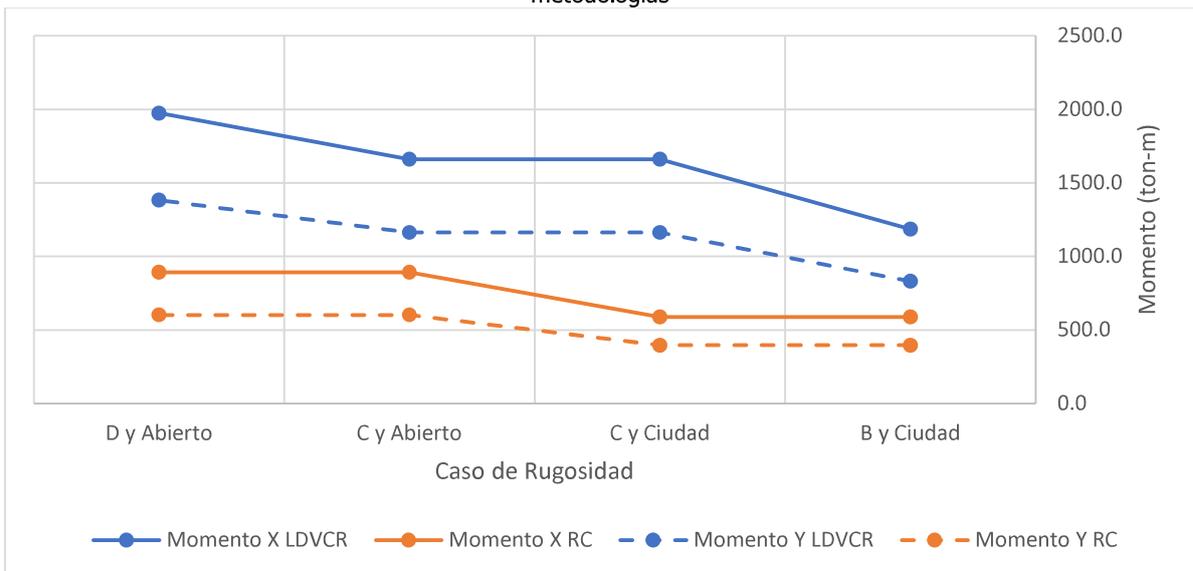
A partir de los cuadros anteriores, se realizan los siguientes gráficos comparativos.



**Figura 31.** Comparación de cortante X y Y de los tres casos de rugosidad de la nave industrial, según ambas metodologías



**Figura 32.** Comparación de reacción vertical de los tres casos de rugosidad de la nave industrial, según ambas metodologías



**Figura 33.** Comparación del momento X y Y de los tres casos de rugosidad de la nave industrial, según ambas metodologías

Al realizar la comparación de los resultados globales entre el LDVCR y el Reglamento de Construcciones, se demostró que el cortante tanto en la dirección X como en la dirección Y para la rugosidad B y D, es similar en ambos casos, lo cual indica que la presión de viento en las paredes a barlovento y sotavento son similares. En el caso de la rugosidad C,

Cuadro 34, se puede apreciar porcentajes de diferencia de hasta un 23% aproximadamente en el cortante. Esto se debe a que se está comparando contra una rugosidad similar a ciudad,

lo que se asemeja más a una rugosidad tipo B en el LDVCR. En el Cuadro 35 y Figura 31 se observa que al comparar el caso de rugosidad C contra una rugosidad de campo abierto del Reglamento de Construcciones el cortante es inferior en casi un 20%. Estas dos comparaciones entre el LDVCR y el Reglamento de Construcciones evidencian que el Reglamento de Construcciones presenta una deficiencia de no tener una categoría intermedia para la determinación de presión de viento.

En el caso de la reacción vertical, en los cuatro casos de estudio se puede apreciar una diferencia de al menos un 50% entre los resultados del Reglamento de Construcciones y el LDVCR, menos en el caso donde se compara una rugosidad C del LDVCR con una rugosidad de campo abierto del Reglamento de Construcciones tal y como se observa en la Figura 32. Esto se debe a la diferencia de las presiones en los techos, a la diferencia en los coeficientes y consideración de la presión interna en el LDVCR. Con respecto a los momentos se puede observar que es prácticamente el doble la demanda del LDVCR con respecto al Reglamento de Construcciones, debido a las cargas de viento en el techo, se puede observar en la Figura 33. La diferencia de momento del 50% aproximadamente se da principalmente por el momento que generan las cargas del techo al multiplicarse por la distancia a las columnas del marco. Los cortantes en X y Y no difieren en más de un 3 %, por lo que el momento ocasionado por estas cargas es similar entre ambas metodologías.

### 5.2.3 Estimación de deflexiones

Para el análisis de los desplazamientos de la nave industrial no existe un límite para los desplazamientos absolutos en ninguno de los dos códigos, pero para desplazamientos relativos existe el límite de 1/400 en el LDVCR.

Los resultados obtenidos no tiene mucho sentido compararlos entre sí porque no presentan las mismas condiciones. Esto se da porque para el caso del Reglamento de Construcciones se calculan los desplazamientos para una carga última de viento, ya que esta carga no se puede asociar a ningún periodo de retorno. Mientras que para el caso del LDVCR se utiliza una carga de servicio que está relacionada a un periodo de retorno de 10 años.

### 5.2.3.1 LDVCR

#### 5.2.3.1.1 Desplazamientos Absolutos

**Cuadro 36.** Desplazamientos absolutos para la nave industrial para distintas rugosidades según LDVCR

<b>Desplazamientos Absolutos</b>	<b>Rugosidad B</b>	<b>Rugosidad C</b>	<b>Rugosidad D</b>
Desplazamiento lateral transversal (mm)	9.21	12.43	14.82
Desplazamiento lateral longitudinal (mm)	8.26	11.34	13.50

Se puede observar como en el sentido transversal es donde se presenta el mayor desplazamiento para el caso del LDVCR con cualquiera de las tres rugosidades. Además, para la rugosidad D se tiene el mayor desplazamiento.

#### 5.2.3.1.2 Desplazamientos Relativos

**Cuadro 37.** Desplazamientos relativos para la nave industrial para distintas rugosidades según LDVCR

<b>Desplazamientos Relativo</b>	<b>Rugosidad B</b>	<b>Rugosidad C</b>	<b>Rugosidad D</b>
Desplazamiento lateral transversal (x)	0.0010	0.0014	0.0016
Desplazamiento lateral longitudinal (y)	0.0009	0.0013	0.0015

Al comparar los resultados del Cuadro 37 contra el límite de 1/400 (0.0025), se puede observar que en ningún caso se supera este valor, por lo tanto, se cumple con los desplazamientos relativos.

### 5.2.3.2 Reglamento de Construcciones

#### 5.2.3.2.1 Desplazamientos absolutos

**Cuadro 38.** Desplazamientos absolutos para la nave industrial para distintas rugosidades según Reglamento de Construcciones

<b>Desplazamientos Absolutos</b>	<b>Desplazamiento (mm)</b>	
	<b>Rugosidad de ciudad</b>	<b>Rugosidad campo abierto</b>
Desplazamiento lateral transversal (x)	20.14	30.61
Desplazamiento lateral longitudinal (y)	13.65	20.75

En el Cuadro 38 se observa que el desplazamiento transversal es superior para cualquiera de las dos rugosidades en estudio. Para ambos sentidos de desplazamientos se presentan valores de desplazamiento mayores para una rugosidad de campo abierto o similar, que para una rugosidad de ciudad.

### 5.2.3.2.2 Desplazamientos relativos

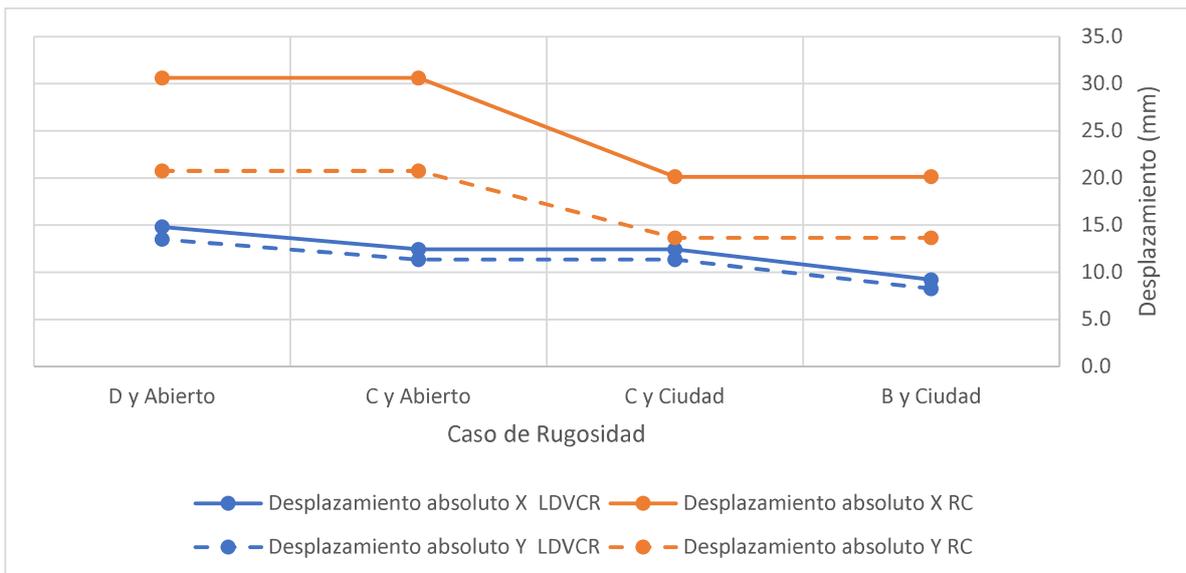
**Cuadro 39.** Desplazamientos relativos para la nave industrial para distintas rugosidades según Reglamento de Construcciones

Desplazamientos Relativo	Desplazamiento	
	Rugosidad de ciudad	Rugosidad campo abierto
Desplazamiento lateral transversal (x)	0.0022	0.0034
Desplazamiento lateral longitudinal (y)	0.0015	0.0023

Al comparar los desplazamientos relativos del Reglamento de Construcciones con el límite de 1/400 se cumple para todos los casos excepto para el caso de desplazamiento lateral transversal con una rugosidad de campo abierto o similar. Este límite no es aplicable para cargas últimas, por lo que no es una revisión adecuada.

### 5.2.3.3 Comparación entre LDVCR y Reglamento de Construcciones

A partir del Cuadro 36 y Cuadro 38, se puede observar que el sentido menos rígido es el sentido transversal, ya que en todos los casos es el sentido con mayores deflexiones.



**Figura 34.** Comparación de desplazamientos absolutos para los casos de rugosidad, según cada metodología

Las magnitudes de desplazamientos absolutos para el Reglamento de Construcciones son superiores que, para el LDVCR, según la Figura 34. Esto se debe al tipo de cargas que se utiliza para la revisión de desplazamientos.

### 5.3 Ventanería

En el caso de la ventanería se simplificó el análisis debido a la variedad de sistemas existentes. Por lo que es más útil el cálculo de la presión de diseño para componentes y elementos de revestimiento de la estructura, que el cálculo de las deflexiones y resultados para un sistema de ventanería en específico. Las memorias de cálculo para la estimación de cargas de la ventanería se pueden observar en el Apéndice D.

#### 5.3.1 Estimación de cargas

##### 5.3.1.1 LDVCR

A continuación, se muestran los parámetros seleccionados para el cálculo de cargas para los dos casos del LDVCR.

**Cuadro 40.** Parámetros para la estimación de cargas de la ventanería según LDVCR

<b>Caso</b>	1	2
<b>Rugosidad</b>	B	B
<b>Ocupación</b>	Esencial	Normal
<b>Nivel de demanda</b>	Muy Alta	Alta
<b>Nivel de demanda de servicio</b>	Baja (50 años)	Baja (10 años)
<b>Ubicación</b>	San José	San José
<b>Zona</b>	III	III
<b>Velocidad básica de viento (km/h)</b>	115	115
<b>Presión básica de viento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	66.1	66.1
<b>Coefficiente de recurrencia</b>	1.87	1.6
<b>Coefficiente de recurrencia de servicio</b>	1	0.7
<b>z<sub>min,e</sub> (m)</b>	8	8
<b>Coefficiente de exposición evaluado en z<sub>min,e</sub></b>	0.67	0.67
<b>Coefficiente de exposición evaluado en h</b>	1.28	1.28
<b>Coefficiente de direccionalidad</b>	0.85	0.85
<b>Presión de viento evaluada a 75 m (kg/m<sup>2</sup>)</b>	131.36	114.69

Las principales diferencias entre ambos casos son la ocupación, el nivel de demanda (tanto para la carga última como para la carga de servicio), el coeficiente de recurrencia y la presión de viento.

**Cuadro 41.** Presión de diseño para la ventanería de un edificio de 75 m de altura con distintas ocupaciones según LDVCR

Altura (m)	Ocupación Esencial				Ocupación Normal			
	Presión de diseño (kg/m <sup>2</sup> )				Presión de diseño (kg/m <sup>2</sup> )			
	Zona 4		Zona 5		Zona 4		Zona 5	
	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa
0	79.1	-128.7	79.1	-220.7	69.1	-112.4	69.1	-192.7
15	90		90		78.6		78.6	
30	104.5		104.5		91.3		91.3	
45	114.5		114.5		99.9		99.9	
60	122.2		122.2		106.7		106.7	
75	128.7		128.7		112.4		112.4	

En el Cuadro 41, se puede observar que para la presión en las paredes a barlovento la presión varía con respecto a la altura, mientras que en las cargas a sotavento se mantiene constante. En términos de magnitud la presión negativa siempre es mayor o igual que la presión positiva.

#### 5.3.1.2 Reglamento de Construcciones

A continuación, se muestran los supuestos considerados para el cálculo de la carga de viento según el Reglamento de Construcciones.

**Cuadro 42.** Parámetros para la estimación de cargas de la ventanería según el Reglamento de Construcciones

Caso	1	2
<b>Rugosidad</b>	<b>Ciudad o Similar</b>	<b>Ciudad o Similar</b>
<b>Ocupación</b>	A	B
<b>Clasificación de estructura</b>	Cerrada	Cerrada
<b>Presión de viento evaluada a 75 m (kg/m<sup>2</sup>)</b>	144	120

En el Cuadro 42 se puede observar la relación que mantiene la presión de viento evaluada a 75 m con respecto a la variación de la ocupación entre los casos de estudio, es importante recordar que la ocupación responde al factor de importancia asignado en cada caso de estudio.

**Cuadro 43.** Presión de diseño para la ventanería de un edificio de 75 m de altura con distintas ocupaciones según Reglamento de Construcciones

Altura (m)	Ocupación Esencial		Ocupación Normal	
	Presión de diseño (kg/m <sup>2</sup> )		Presión de diseño (kg/m <sup>2</sup> )	
	Pared de frente	Pared de fondo	Pared de frente	Pared de fondo
0	52.8	-26.4	44	-22
15	72	-36	60	-30
30	91.2	-45.6	76	-38
45	103	-51.6	86	-43
60	109.4	-54.72	91.2	-45.6
75	115.2	-57.6	96	-48

Para el Reglamento de Construcciones la presión varía con respecto a la altura. Y se observa que el valor predominante es la presión positiva (paredes a barlovento).

#### 5.3.1.3 Comparación entre LDVCR y el Reglamento de Construcciones

A partir de los resultados expuestos en el Cuadro 40 y Cuadro 42, la estimación de la presión de viento evaluada a una altura "h" de la ventanería del edificio en el LDVCR presenta una presión de viento menor que el Reglamento de construcciones.

**Cuadro 44.** Comparación de presión de diseño para la ventanería de un edificio de 75 m de altura con una ocupación esencial entre LDVCR y el Reglamento de Construcciones

Altura (m)	LDVCR				Reglamento de Construcciones	
	Presión de diseño (kg/m <sup>2</sup> )				Presión de diseño (kg/m <sup>2</sup> )	
	Zona 4		Zona 5		Pared de frente	Pared de fondo
	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa		
0	79.1	-128.7	79.1	-220.7	52.8	-26.4
15	90		90		72	-36
30	104.5		104.5		91.2	-45.6
45	114.5		114.5		103	-51.6
60	122.2		122.2		109.4	-54.72
75	128.7		128.7		115.2	-57.6

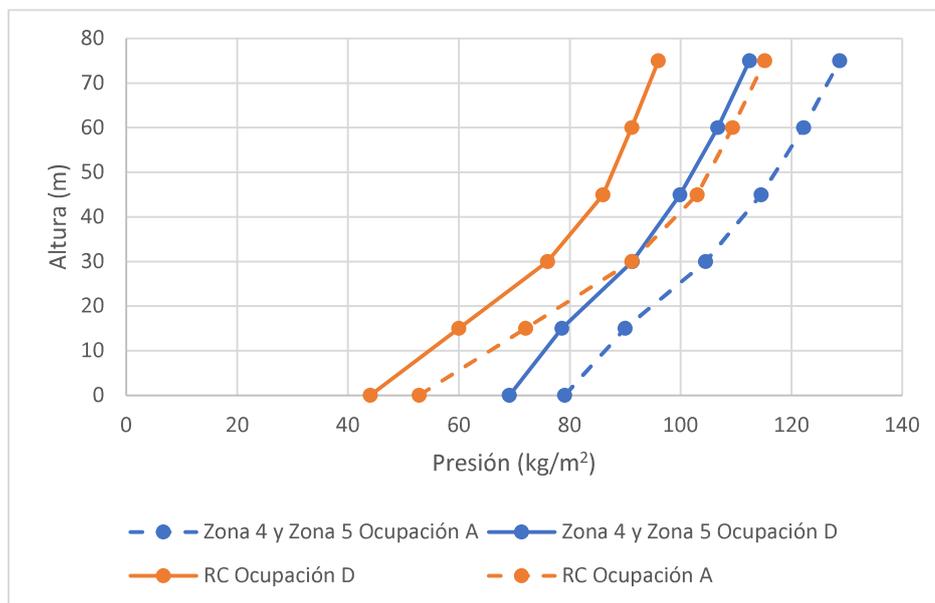
Al observar el Cuadro 44, la presión de positiva y negativa para la altura máxima, tanto para zonas 4 y 5 del LDVCR, es mayor que los valores del Reglamento de Construcciones. En el caso de la succión del LDVCR para el caso 4 se observa que es aproximadamente 2.5 veces mayor

que la succión del Reglamento de Construcciones, pero para el caso de la zona 5 es hasta 4.5 veces mayor que la succión del Reglamento de Construcciones.

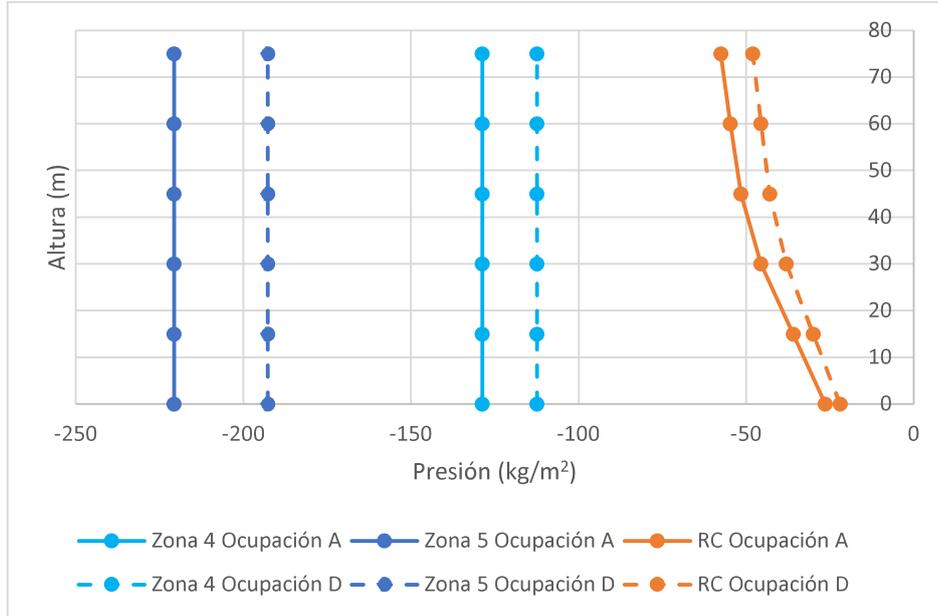
**Cuadro 45.** Comparación de presión de diseño para la ventanería de un edificio de 75 m de altura con una ocupación normal entre LDVCR y el Reglamento de Construcciones

Altura (m)	LDVCR				Reglamento de Construcciones	
	Presión de diseño (kg/m <sup>2</sup> )				Presión de diseño (kg/m <sup>2</sup> )	
	Zona 4		Zona 5		Pared de frente	Pared de fondo
	Positiva	Negativa	Positiva	Negativa		
0	69.1	-112.4	69.1	-192.7	44	-22
15	78.6		78.6		60	-30
30	91.3		91.3		76	-38
45	99.9		99.9		86	-43
60	106.7		106.7		91.2	-45.6
75	112.4		112.4		96	-48

En el caso de ocupación normal, Cuadro 45, presenta una misma tendencia que los resultados para una ocupación esencial. Los valores de presión y succión del LDVCR son mayores que los del Reglamento de Construcciones, tal y como se observa en la **Figura 35** y **Figura 36**, respectivamente.



**Figura 35.** Comparación gráfica de presión de diseño para la ventanería para dos casos distintos de ocupación según ambas metodologías



**Figura 36.** Comparación gráfica de succión de diseño para la ventanería para dos casos distintos de ocupación según ambas metodologías

Al comparar los valores de la presión del LDVCR con respecto al Reglamento de Construcciones, se obtuvo que en promedio la presión aumentaba en aproximadamente un 18%, mientras que la succión aumentaba en un 73%.

## 5.4 Rótulo

Las memorias de cálculo para la estimación de carga del rótulo se pueden consultar en el Apéndice E. Los resultados globales y desplazamientos fueron obtenidos a partir del modelo realizado en el software SAP 2000 v23.

### 5.4.1 Estimación de cargas

#### 5.4.1.1 LDVCR

Para el caso del rótulo se muestran los parámetros utilizados para la estimación de carga para el LDVCR en el Cuadro 46. Además, los coeficientes de presión se seleccionaron a partir de la información en el Anexo B.

**Cuadro 46.** Parámetros para la estimación de cargas del rótulo según el LDVCR

Caso	1	2	3
<b>Rugosidad</b>	B	B	B
<b>Ocupación</b>	Miscelánea	Miscelánea	Miscelánea
<b>Nivel de demanda</b>	Alta	Alta	Alta
<b>Nivel de demanda de servicio</b>	Baja (10 años)	Baja (10 años)	Baja (10 años)
<b>Ubicación</b>	Liberia Norte	San José	Limón
<b>Zona</b>	V	III	I
<b>Velocidad básica de viento (km/h)</b>	140	115	100
<b>Presión básica de viento (kg/m<sup>2</sup>)</b>	98	66.1	50
<b>Coefficiente de recurrencia</b>	1.6	1.6	3
<b>Coefficiente de recurrencia de servicio</b>	0.7	0.7	0.7
<b>z<sub>min,e</sub> (m)</b>	8	8	8
<b>Coefficiente de exposición evaluado en z<sub>min,e</sub></b>	0.67	0.67	0.67
<b>Coefficiente de exposición evaluado en h</b>	0.88	0.88	0.88
<b>Coefficiente de direccionalidad</b>	0.85	0.85	0.85
<b>Presión de viento evaluada en h (kg/m<sup>2</sup>)</b>	116.50	78.60	111.70

El principal cambio entre los tres casos es la ubicación. El cambio de ubicación va a generar que cada caso se encuentre en una zona de velocidad básica de viento diferente. Otro factor importante es el coeficiente de recurrencia, ya que para Liberia Norte y San José es el mismo, pero para Limón al ubicarse en la Zona I, de la zonificación de viento del país, presenta un coeficiente superior al ser una zona propensa a la ocurrencia de huracanes de baja intensidad. Es importante observar que para la condición de servicio el coeficiente de recurrencia es igual para los tres casos. Y, por último, se observa el cambio en la presión de viento evaluada en la altura h varía para las tres ubicaciones.

#### 5.4.1.2 Reglamento de Construcciones

En el caso del Reglamento de Construcciones se consideraron los siguientes parámetros. Al presentarse en todos los casos del LDVCR una rugosidad B, se determinó utilizar una rugosidad de ciudad o similar para todos los casos.

**Cuadro 47.** Parámetros para la estimación de cargas del rótulo según el Reglamento de Construcciones

Caso	1	2	3
<b>Rugosidad</b>	<b>Ciudad o Similar</b>	<b>Ciudad o Similar</b>	<b>Ciudad o Similar</b>
<b>Ocupación</b>	C	C	C
<b>Clasificación de estructura</b>	Cerrada	Cerrada	Cerrada
<b>Presión de viento evaluada en h (kg/m<sup>2</sup>)</b>	85	85	85

### 5.4.1.3 Comparación de estimación de cargas entre metodologías

**Cuadro 48.** Diferencia entre presión de viento evaluada en h para el rótulo entre metodologías

<b>Comparación</b>	<b>LDVCR</b>	<b>RC</b>	<b>Porcentaje de diferencia</b>
Liberia	116.5	85	27.0
San José	78.6	85	-8.1
Limón	111.7	85	23.9

Del Cuadro 48, se puede observar que para el caso de Liberia y Limón el LDVCR presenta una presión de viento superior que el Reglamento de Construcciones, mientras que, para el caso de San José, el Reglamento de Construcciones presenta valores superiores al LDVCR.

### 5.4.2 Estimación de reacciones globales

#### 5.4.2.1 LDVCR

Para el caso del rótulo solo se cargó en la dirección crítica (X). Para el LDVCR se utilizan los casos de carga estipulados según el Anexo B. Cada caso de carga se puede observar en los diagramas de carga para rótulos en el Apéndice B. Para ver la manera de cálculo de estas cargas se debe revisar el Apéndice E.

**Cuadro 49.** Reacciones globales del rótulo en Liberia según los casos de carga del LDVCR

<b>Reacciones Globales</b>	<b>Liberia</b>			<b>Rige</b>
	<b>Cva</b>	<b>CVb</b>	<b>CVc</b>	
Cortante X (ton)	-12.59	-12.59	-22.44	-22.44
Momento Y (ton-m)	-179.77	-179.77	-346.23	-346.23
Momento Z (ton-m)	19.67	37.84	44.52	44.52

**Cuadro 50.** Reacciones globales del rótulo en San José según los casos de carga del LDVCR

<b>Reacciones Globales</b>	<b>San José</b>			<b>Rige</b>
	<b>Cva</b>	<b>CVb</b>	<b>CVc</b>	
Cortante X (ton)	-8.41	-8.42	-15.02	-15.02
Momento Y (ton-m)	-120.38	-120.45	-232.12	-232.12
Momento Z (ton-m)	13.14	25.35	29.83	29.83

**Cuadro 51.** Reacciones globales del rótulo en Limón según los casos de carga del LDVCR

Reacciones Globales	Limón			Rige
	Cva	CVb	CVc	
Cortante X (ton)	-11.95	-11.95	-21.32	-21.32
Momento Y (ton-m)	-170.94	-170.94	-329.30	-329.30
Momento Z (ton-m)	18.67	35.98	42.33	42.33

Existen tres casos de carga para un rótulo establecidos por el LDVCR. A partir del Cuadro 49, Cuadro 50, y Cuadro 51, se observa que el caso de carga C rige en todas las reacciones globales para las tres ubicaciones distintas.

El caso B y C tiene el propósito de incluir un efecto de torsión a la estructura, al presentar cargas que van en sentidos contrarios o cargas de magnitudes distintas en los extremos del rótulo, respectivamente. Debido a lo anterior, se consideró el momento con respecto a Z en los resultados globales. Además, se puede observar que para el caso de carga A y B el cortante con respecto a X, y el momento con respecto a Y presentan valores similares, mientras que el momento con respecto Z es donde varían, ya que se incluye la misma carga, pero con una excentricidad en el caso B.

**Cuadro 52.** Comparación de reacciones globales del rótulo según la ubicación

Reacciones Globales	Liberia	San José	Limón
Cortante X (ton)	-22.44	-15.02	-21.32
Cortante Y (ton)	-346.23	-232.12	-329.30
Reacción vertical Z (ton)	44.52	29.83	42.33

Al comparar las reacciones globales que rigen de los tres casos, se observa que el caso de Limón y el de Liberia presentan valores similares a pesar de estar en zona de velocidad de viento diferentes. Esto se debe al efecto de recurrencia al estar ubicado Limón en la zona 1.

#### 5.4.2.2 Reglamento de Construcciones

Para los casos del Reglamento de Construcciones solo se consideró la dirección crítica (X), de donde la carga se distribuye uniformemente en el rótulo.

**Cuadro 53.** Reacciones globales del rótulo según el Reglamento de Construcciones

<b>Reacciones Globales</b>	<b>Rugosidad ciudad o similar</b>
Cortante X (ton)	-4.76
Momento Y (ton-m)	-80.40
Momento Z (ton-m)	7.43

#### 5.4.2.3 Comparación entre LDVCR y Reglamento de Construcciones

Al observar las comparaciones del Cuadro 54, Cuadro 55, y Cuadro 56, se observan porcentajes de diferencia entre el LDVCR y Reglamento de Construcciones entre el 65% al 85%. En los tres casos el porcentaje que más varía es en el caso del momento con respecto a Z.

**Cuadro 54.** Comparación de reacciones globales para el rótulo ubicado en Liberia entre el LDVCR y el Reglamento de Construcciones

<b>Reacciones Globales</b>	<b>LDVCR</b>	<b>RC</b>	<b>Porcentaje de diferencia</b>
	<b>Liberia</b>	<b>Rugosidad ciudad o similar</b>	
Cortante X (ton)	-22.44	-4.76	78.8%
Momento Y (ton-m)	-346.23	-80.40	76.8%
Momento Z (ton-m)	44.52	7.43	83.3%

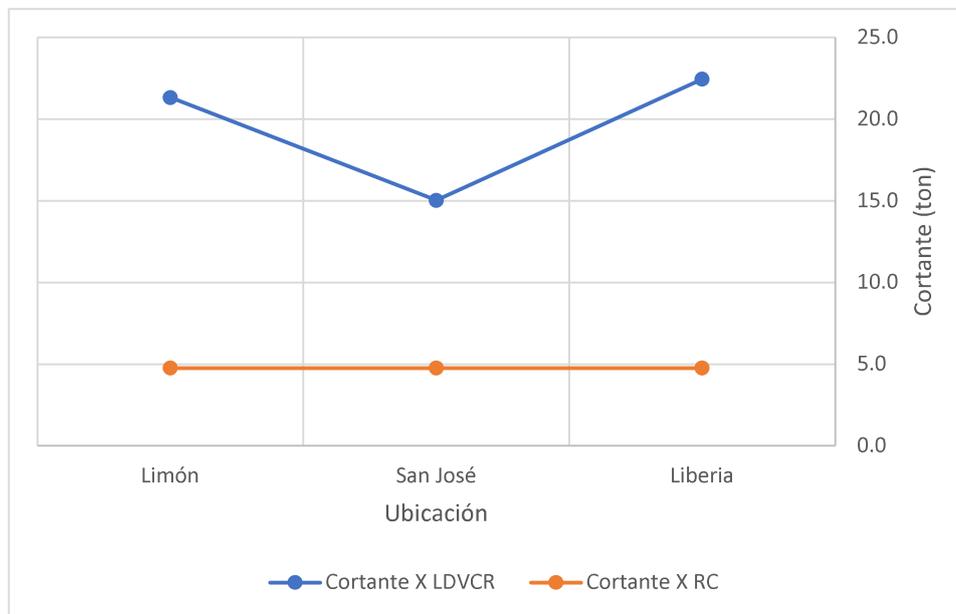
**Cuadro 55.** Comparación de reacciones globales para el rótulo ubicado en San José entre el LDVCR y el Reglamento de Construcciones

<b>Reacciones Globales</b>	<b>LDVCR</b>	<b>RC</b>	<b>Porcentaje de diferencia</b>
	<b>San José</b>	<b>Rugosidad ciudad o similar</b>	
Cortante X (ton)	-15.02	-4.76	68.3%
Momento Y (ton-m)	-232.12	-80.40	65.4%
Momento Z (ton-m)	29.83	7.43	75.1%

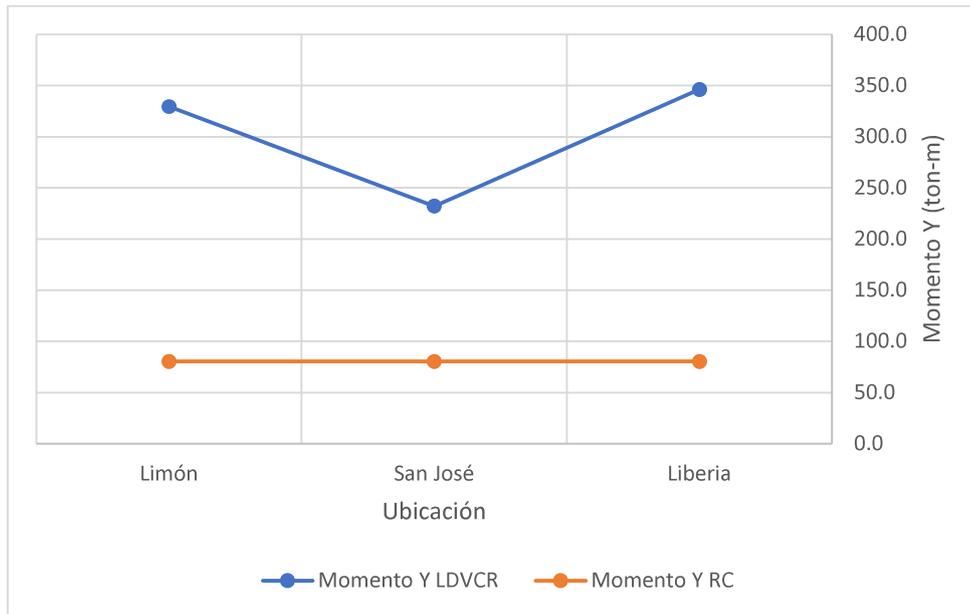
**Cuadro 56.** Comparación de reacciones globales para el rótulo ubicado en Limón entre el LDVCR y el Reglamento de Construcciones

Reacciones Globales	LDVCR	RC	Porcentaje de diferencia
	Limón	Rugosidad ciudad o similar	
Cortante X (ton)	-21.32	-4.76	77.7%
Momento Y (ton-m)	-329.30	-80.40	75.6%
Momento Z (ton-m)	42.33	7.43	82.4%

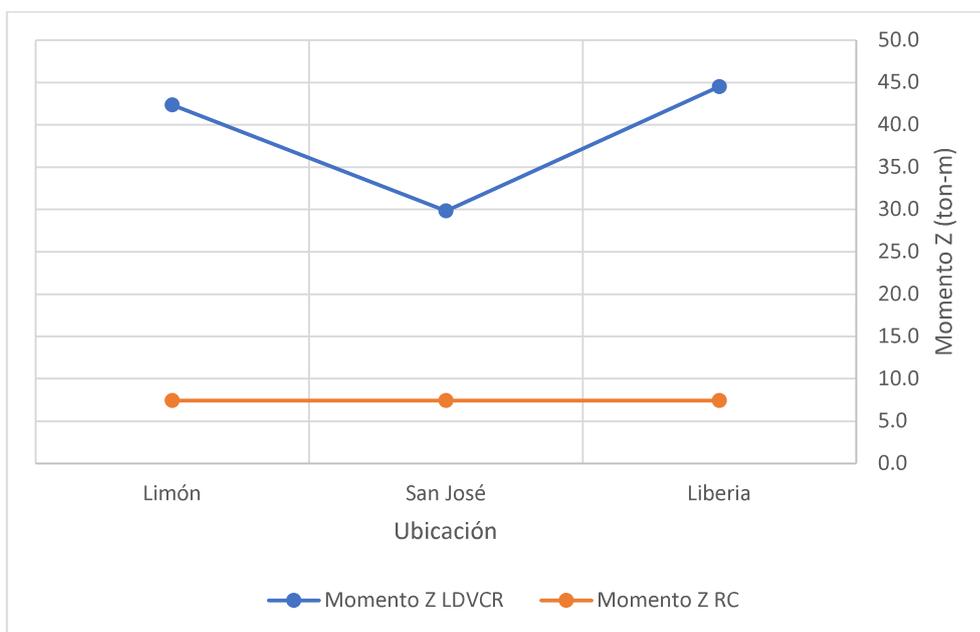
A partir de los cuadros anteriores, se realizaron los siguientes gráficos comparativos. En ellos se puede apreciar que el Reglamento de Construcciones presenta magnitudes tanto para el cortante y los momentos que experimenta la estructura son menores que el LDVCR.



**Figura 37.** Comparación de cortante X de los tres casos de ubicación del rótulo, según ambas metodologías



**Figura 38.** Comparación de momento Y de los tres casos de ubicación del rótulo, según ambas metodologías



**Figura 39.** Comparación de momento Y de los tres casos de ubicación del rótulo, según ambas metodologías

Para los tres casos se puede observar que el momento con respecto al eje Z del Reglamento de Construcciones es despreciable con respecto a el LDVCR, por lo que se demuestra que la torsión para los casos de carga del Reglamento de Construcciones es prácticamente nula.

### 5.4.3 Estimación de deflexiones

En el caso del rótulo, no se calculan los desplazamientos relativos ya que al ser una estructura miscelánea en el LDVCR y el Reglamento de Construcciones no existe ningún límite. Por lo tanto, nada más se considerarán los desplazamientos absolutos. Al igual que en el caso de la nave industrial, los desplazamientos del LDVCR no son comparables con los del Reglamento de Construcciones al utilizar una carga de servicio, y la otra utilizar una carga última.

#### 5.4.3.1 LDVCR

**Cuadro 57.** Desplazamientos absolutos por ubicación para el LDVCR

<b>Desplazamientos Absolutos</b>	<b>Liberia</b>	<b>San José</b>	<b>Limón</b>
Desplazamiento lateral (mm)	377.63	253.32	193.49

En el Cuadro 57 se puede observar los desplazamientos para los tres casos de estudio. Al calcular los desplazamientos con la carga de servicio el caso de Limón es el que presenta un menor desplazamiento, mientras que Liberia es el que presenta un mayor desplazamiento. Esto se debe a la velocidad del viento básica, ya que para la carga de servicio todos presentan un mismo coeficiente de recurrencia.

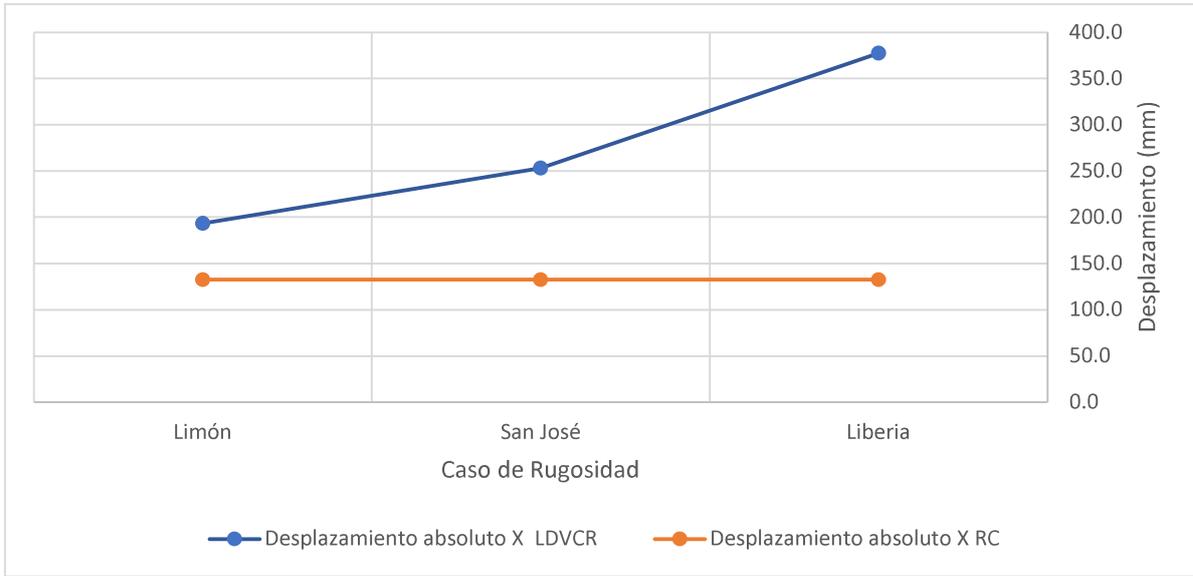
#### 5.4.3.2 Reglamento de Construcciones

**Cuadro 58.** Desplazamientos absolutos por ubicación para el Reglamento de Construcciones

<b>Desplazamientos Absolutos</b>	<b>Ciudad o Similar</b>
Desplazamiento lateral (mm)	132.69

#### 5.4.3.3 Comparación entre LDVCR y Reglamento de Construcciones

Del Cuadro 57, el Cuadro 58 y la Figura 40 se puede observar que a pesar de que el Reglamento de Construcciones es una carga última, el desplazamiento es menor que los desplazamientos debido a cargas de servicio del LDVCR para todos los casos.



**Figura 40.** Comparación de desplazamientos absolutos para los casos de ubicación, según cada metodología

## **6 Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

#### 6.1.1 Descripción y comparación de las metodologías

En el proceso del proyecto se observaron diferencias en la complejidad de utilizar el LDVCR para el cálculo de la presión de viento, y su análisis en la estructura con respecto a el Reglamento de Construcciones.

El Reglamento de Construcciones no considera casos de carga especiales para estructuras donde rigen generalmente las cargas de viento, como en el caso del rótulo, techos y componentes no estructurales de estructuras.

El Reglamento de Construcciones presenta limitaciones con los tipos de estructura utilizados para la definición de los factores de forma. En el caso específico del rótulo, se convierte en un método poco conservador, ya que no cuenta con factores de forma adecuado.

El LDVCR presenta ciertas limitantes con los tipos de estructura para la definición de los coeficientes de presión, como es el caso de los componentes de edificios mayores a 18 m.

Debido a que el LDVCR utiliza cargas de servicio para el cálculo de desplazamientos y el Reglamento de Construcciones utiliza cargas últimas, se concluye que no es adecuada la comparación de resultados entre ambas metodologías.

#### 6.1.2 Nave Industrial

Para la estimación de la presión de viento evaluada a una altura "h" en todos los casos de la nave industrial se obtiene un resultado mayor de demanda para el LDVCR en comparación con el Reglamento de Construcciones. Para el caso de una estructura con una rugosidad de ciudad varía en aproximadamente un 10%, para una rugosidad de campo abierto varía en aproximadamente un 17%, mientras que para una rugosidad intermedia en un 19%. Evidenciando el impacto de los parámetros incluidos en el LDVCR como lo es el coeficiente de exposición.

Con respecto al parámetro de la rugosidad se logró observar una diferencia entre el Reglamento de Construcciones y el LDVCR a partir de los resultados de la nave industrial. Para las reacciones globales, los valores de cortante son similares (menos de un 3% de diferencia) para

el caso de rugosidad B y D, mientras que para la rugosidad C si es significativo el cambio (aproximadamente 20%) evidenciando que el Reglamento de Construcciones carece de una categoría intermedia de rugosidad.

En el caso de la reacción vertical y de los momentos de volcamiento, los resultados del LDVCR presentan valores superiores a los del Reglamento de Construcciones de al menos un 50% aproximadamente, mostrando que las cargas de techo utilizadas en el Reglamento de Construcciones son inferiores a las del LDVCR. Esto implica que los componentes de techo se deberán de revisar para cargas de viento mayores y que el viento puede llegar a regir el diseño de estos elementos. En caso de que el diseño de la estructura este regido por las cargas de viento, el marco principal de la estructura tendrá que revisarse para que soporte los momentos adicionales debido al aumento de las cargas del techo.

A partir de la comparación de los desplazamientos laterales relativos máximos obtenidos con el límite del LDVCR para la nave industrial, se concluye que para una rugosidad de campo abierto no se estaría cumpliendo con los desplazamientos laterales máximos de la estructura del Reglamento de Construcciones.

Para el resto de los casos de la nave industrial no se sabe con certeza si se cumple con los desplazamientos laterales máximos, debido a que no se están considerando las cargas permanentes y temporales en la estructura.

### 6.1.3 Ventanería

Para la estimación de la presión de viento evaluada a una altura "h" en todos los casos de la ventanería, se obtiene un resultado mayor de demanda para el LDVCR en comparación con el Reglamento de Construcciones. Para el caso de presión varía en aproximadamente un 18%, y para la succión en un 73%. Evidenciando el impacto de los parámetros incluidos en el LDVCR como lo es el coeficiente de recurrencia.

### 6.1.4 Rótulo

Para la estimación de la presión de viento evaluada a una altura "h" en la mayoría de los casos del rótulo se obtiene un resultado mayor de demanda para el LDVCR en comparación con el Reglamento de Construcciones. Para Limón la presión del LDVCR es superior que el Reglamento de Construcciones en aproximadamente un 24% al igual que en Liberia donde la diferencia es de un 27%. En el caso de San José, la presión de viento es superior en el Reglamento de

Construcciones en un 9%. Evidenciando el impacto de los parámetros incluidos en el LDVCR como lo es el coeficiente de recurrencia y la velocidad básica del viento.

El efecto de la ubicación se observa en el caso del rótulo con la reacción global del cortante en X, donde se aprecia que la carga del LDVCR es superior a la carga obtenida con el Reglamento de Construcciones para todos los casos en al menos un 68%. Lo cual evidencia que el parámetro de la ubicación para el LDVCR no afecta solamente la velocidad básica del viento, si no también afecta el coeficiente de recurrencia, como se evidenció con el caso de Limón correspondiente a Zona I, donde se considera la probabilidad de huracanes de baja intensidad, y presenta una carga última superior al caso de San José pese a poseer una velocidad básica de viento superior.

En el caso del rótulo, los desplazamientos del LDVCR, a pesar de ser calculados con cargas de servicio, muestran valores mayores que los desplazamientos calculados con el Reglamento de Construcciones que son calculados con cargas últimas. Esto evidencia que el diseño específico de rótulos no fue contemplado en el Reglamento de Construcciones.

## **6.2 Recomendaciones**

Se recomienda:

- Crear una guía de ejemplos para distintas estructuras utilizando el LDVCR, para solventar la complejidad que presenta su implementación con respecto al Reglamento de Construcciones. Y asegurar así, una correcta interpretación y uso de los parámetros.
- Revisar las estructuras existentes principalmente para las zonas I y V del LDVCR, donde se presenta un mayor incremento en los valores calculados de las presiones de viento con respecto al Reglamento de Construcciones.
- Estudiar el caso de la nave industrial, pero considerando las cargas permanentes, temporales y de sismo, con el propósito de determinar bajo cuales circunstancias rigen las cargas de viento.
- Estimar los valores de presión de viento a partir de parámetros no contemplados en este análisis para las variables de la ubicación, la rugosidad y la ocupación de la estructura.
- Realizar un estudio del caso de la nave industrial donde se evalúe la condición de cerramiento. Esto con el propósito de evaluar las condiciones de abierta, cerrada o

parcialmente cerrada.

- Para el LDVCR se recomienda revisar la determinación del coeficiente de recurrencia con condiciones de servicio para las estructuras ubicadas en la zona I. En estos casos para la determinación de la carga última se utiliza un coeficiente de recurrencia de 3, pero para las cargas de servicio se utiliza un coeficiente de recurrencia igual a las otras zonas a pesar de ser una zona con exposición a posibles huracanes. Esto se recomienda con el propósito de obtener presiones de servicio comparables al nivel de las cargas últimas.
- Para solventar el caso en que el LDVCR no presente el tipo de estructura a diseñar, se recomienda al LDVCR la inclusión de una nota donde se incentive al diseñador a investigar coeficientes de presión en referencias externas. Tal y como se da con el caso de los componentes de estructuras mayores a 18 m.
- Con el propósito de dimensionar la importancia de la revisión de desplazamientos laterales para las cargas de viento, se recomienda realizar un análisis que contemple configuraciones que incluyan variaciones en la interacción que existe entre las cargas de viento y sismo con las cargas gravitacionales.
- Considerar la importancia del estudio y análisis de los sistemas y componentes no estructurales cuyo diseño pueda ser regido por las cargas de viento como lo son rótulos, aleros, equipos electromecánicos y revestimientos de las estructuras, entre otros, cuya afectación puede implicar una falla operativa de la estructura o una amenaza para la vida humana.

## 7 Fuentes de información

- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. ASCE/SEI 7-10. Virginia: ASCE.
- Applied Technology Council (ATC). (2009). *Basic Wind Engineering for Low-Rise Building*. California, Estado Unidos, Applied Technology Council.
- Applied Technology Council (ATC). (2004). *SEAW commentary on wind code provisions Volume 1*. California, Estado Unidos, Applied Technology Council.
- Applied Technology Council (ATC). (2004). *SEAW commentary on wind code provisions Volume 2*. California, Estado Unidos, Applied Technology Council.
- Asociación de Estados del Caribe (AEC). (2003). Código Modelo de Construcción para Cargas de Viento. Port of Spain, Trinidad y Tobago, West Indies: ASCE.
- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENC). (1998). *Eurocódigo 1 Bases de Proyecto y Acciones en Edificaciones*. Madrid, España.
- Arguedas, G. (2006). *Comparación de códigos de diseño para viento y propuesta para Costa Rica*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Behrens, M. (1982). *Introducción al estudio de las velocidades de diseño para Costa Rica en un modelo estático para cargas de viento*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Cochise, H. (2018). *Mecánica de Fluidos*. Sangolquí, Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2020). *Lineamientos para diseño por Viento de Costa Rica*. San José.
- Davenport, A.G. (1961). *A Statistical Approach to the Treatment of Wind Loading on Tall Masts and Suspension Bridges*. Ph.D. Thesis. Department of Civil Engineering, University of Bristol, United Kingdom.

- FSA Ingeniería & Arquitectura (FSA). (2015). *Planos de Proyecto: Nave Industrial*. San José, Costa Rica.
- FSA Ingeniería & Arquitectura (FSA). (2015). *Planos de Proyecto: Rótulo*. San José, Costa Rica.
- FSA Ingeniería & Arquitectura (FSA). (2015). *Planos de Proyecto: Edificio de 75 m de altura*. San José, Costa Rica.
- García, J. (2005). *Viento y Arquitectura (1era edición)*. Ed Trillas.
- Holmes, J. D. (2015). *Wind Loading of Structures* (3ra edición). Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). (1983) *Reglamento de Construcciones*. Publicado en Diario Oficial La Gaceta el 22 de marzo de 1983. San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo (INVU). (2018) *Reglamento de Construcciones*. Publicado en Diario Oficial La Gaceta el 23 de marzo de 2018. San José, Costa Rica.
- Johanning, D. (2019). *Análisis estructural de una nave industrial de acero con diferentes configuraciones de aberturas sujeta a fuerzas de viento*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Muñoz, J. (2017). Determinación de la Velocidad Básica del Viento. *Programa de Ingeniería Estructural*, 2(3), 1-11.
- Nilsson, A. (2010). *The Sodar as a Screening Instrument*. Universidad de Uppsala. Uppsala, Suecia.
- Patiño, M. (2007). *Mapa de velocidades de viento para Costa Rica*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Roland, A. (1983). *SP-4103 Model Research*. Tomado del sitio web <https://history.nasa.gov/SP-4103/app-f.htm#n529>
- Simiu, E. y Scanlan, R. (1977). *Wind Effects on Structures*. New York, Estados Unidos, John

Wiley & Sons.

Standards Australia/Standards New Zealand (AS/NZS). (2011). *Structural Design Actions. Part 2. Wind Actions*. AS/NZS 1170.2:2011. Sydney/Wellington: AS/NZS.

## 8 Apéndices:

### 8.1 Apéndice A: Diagramas de carga de viento para la nave industrial

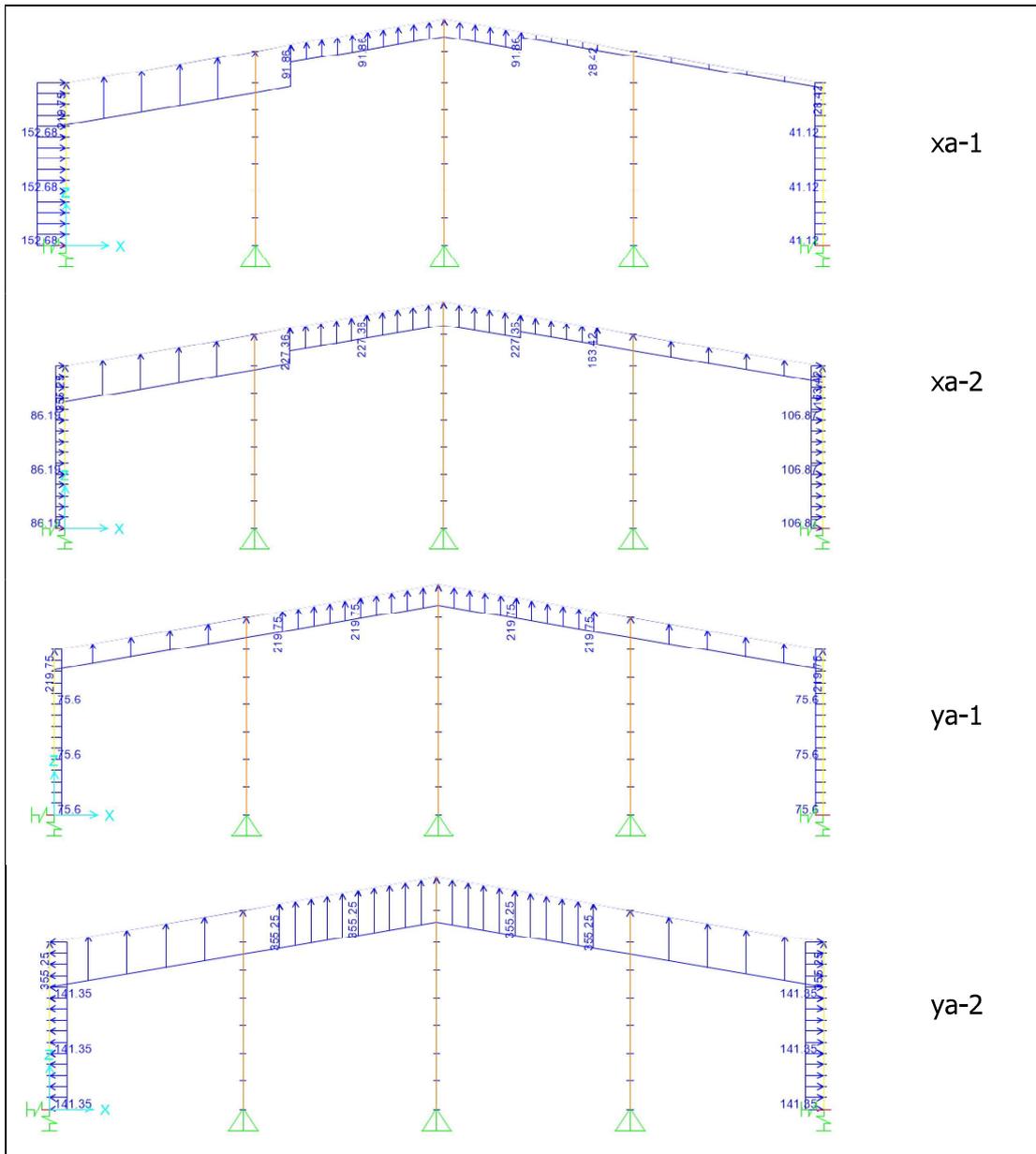
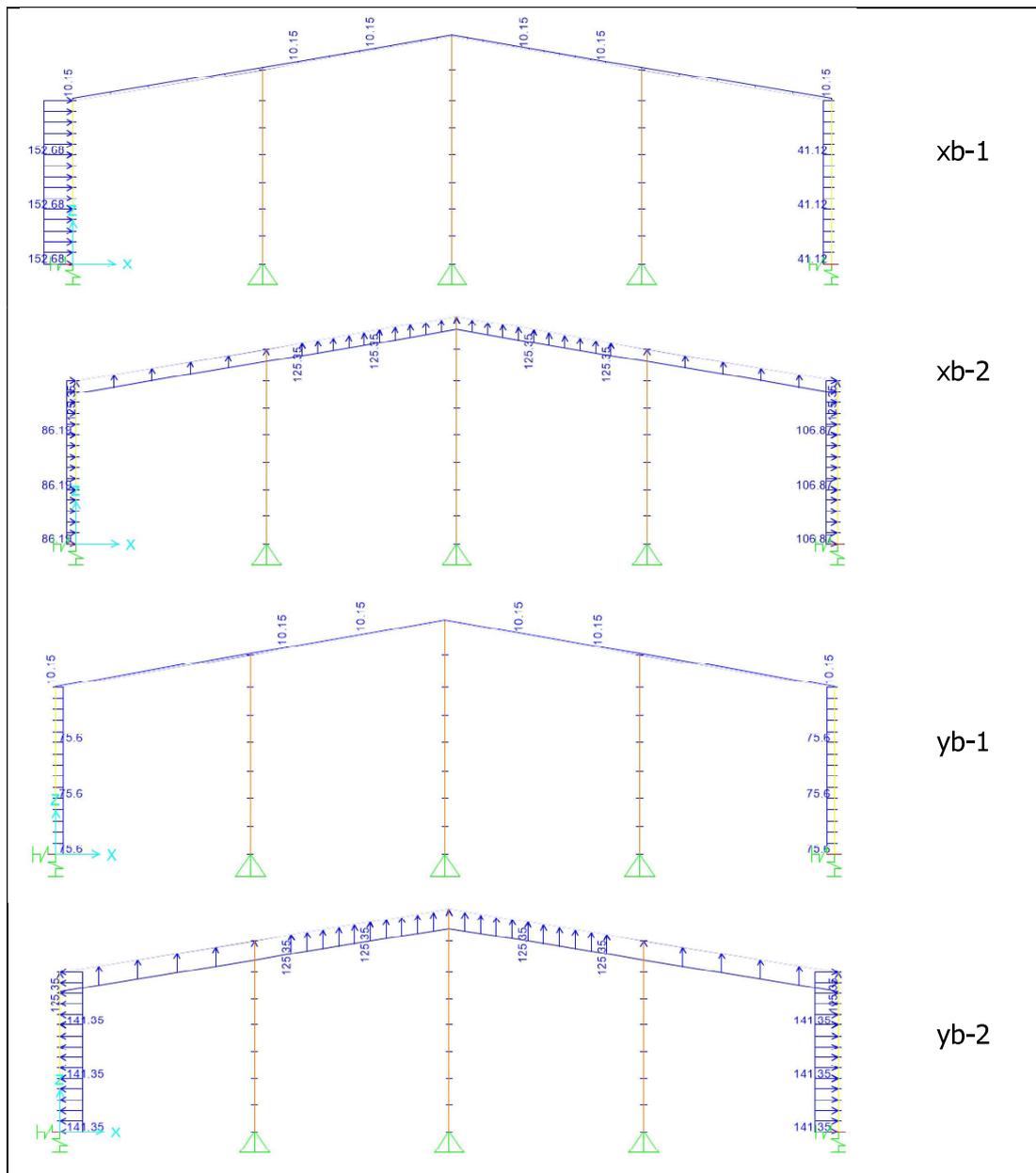
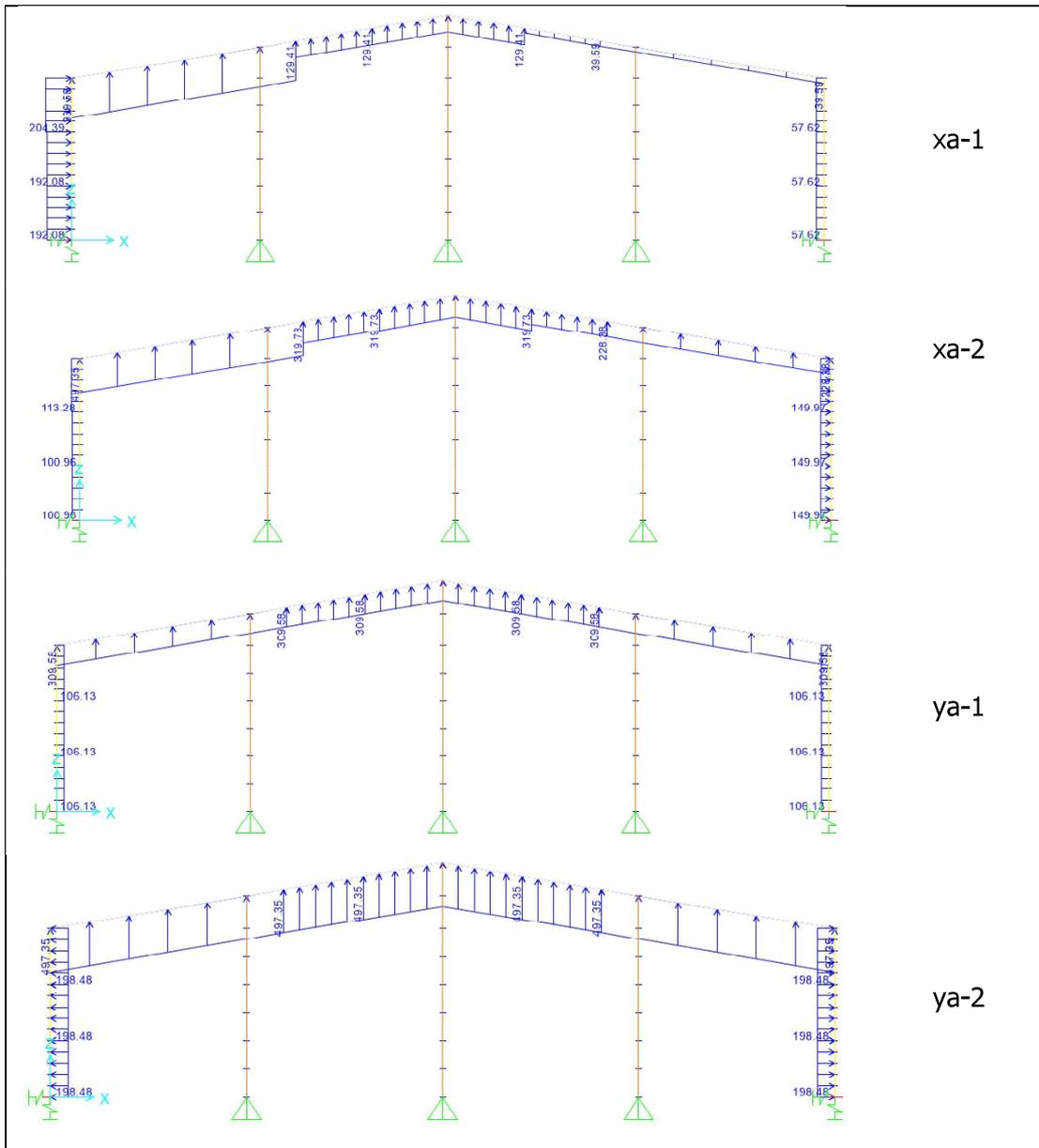


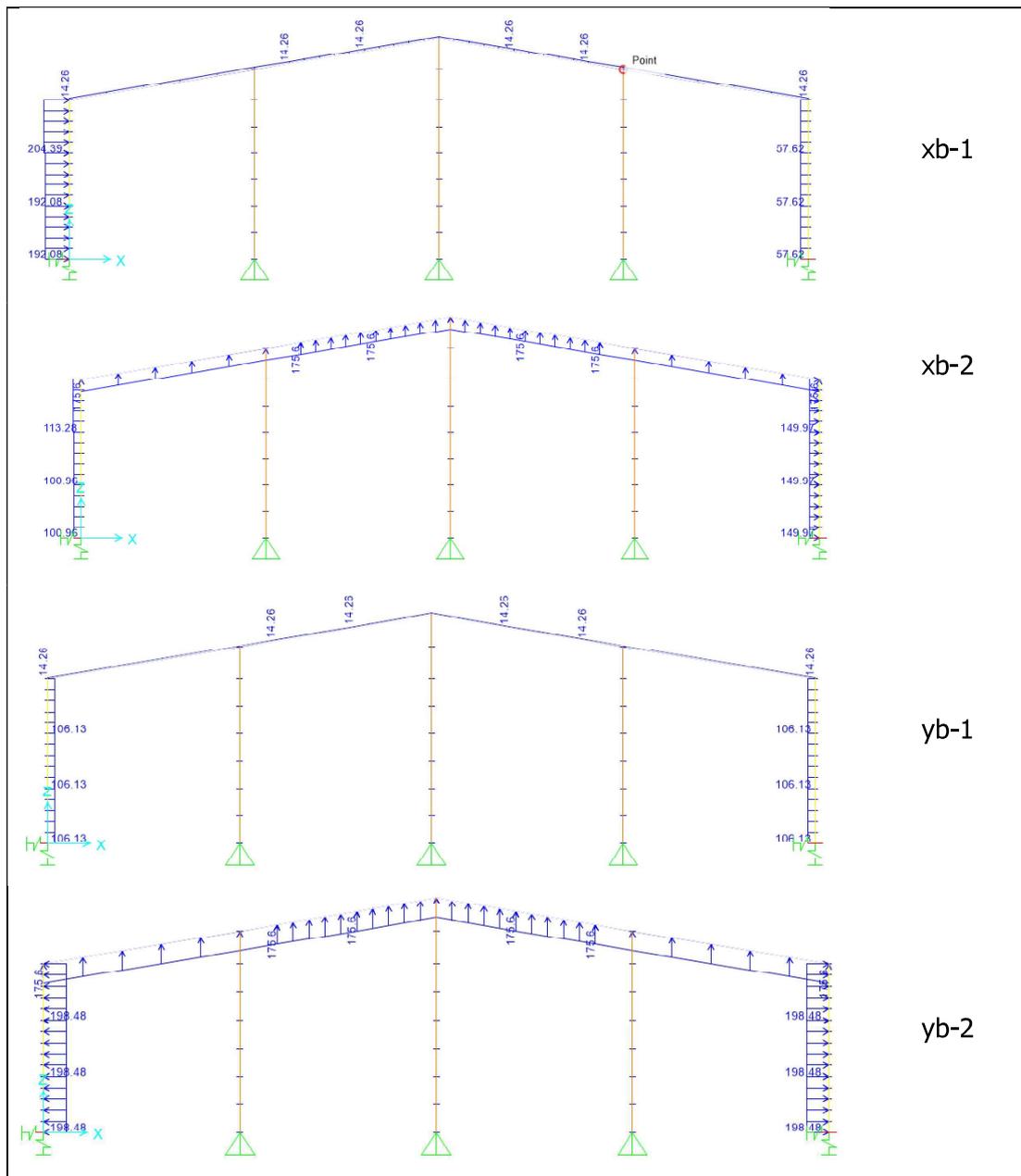
Figura 41. Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad B caso a según el LDVCR



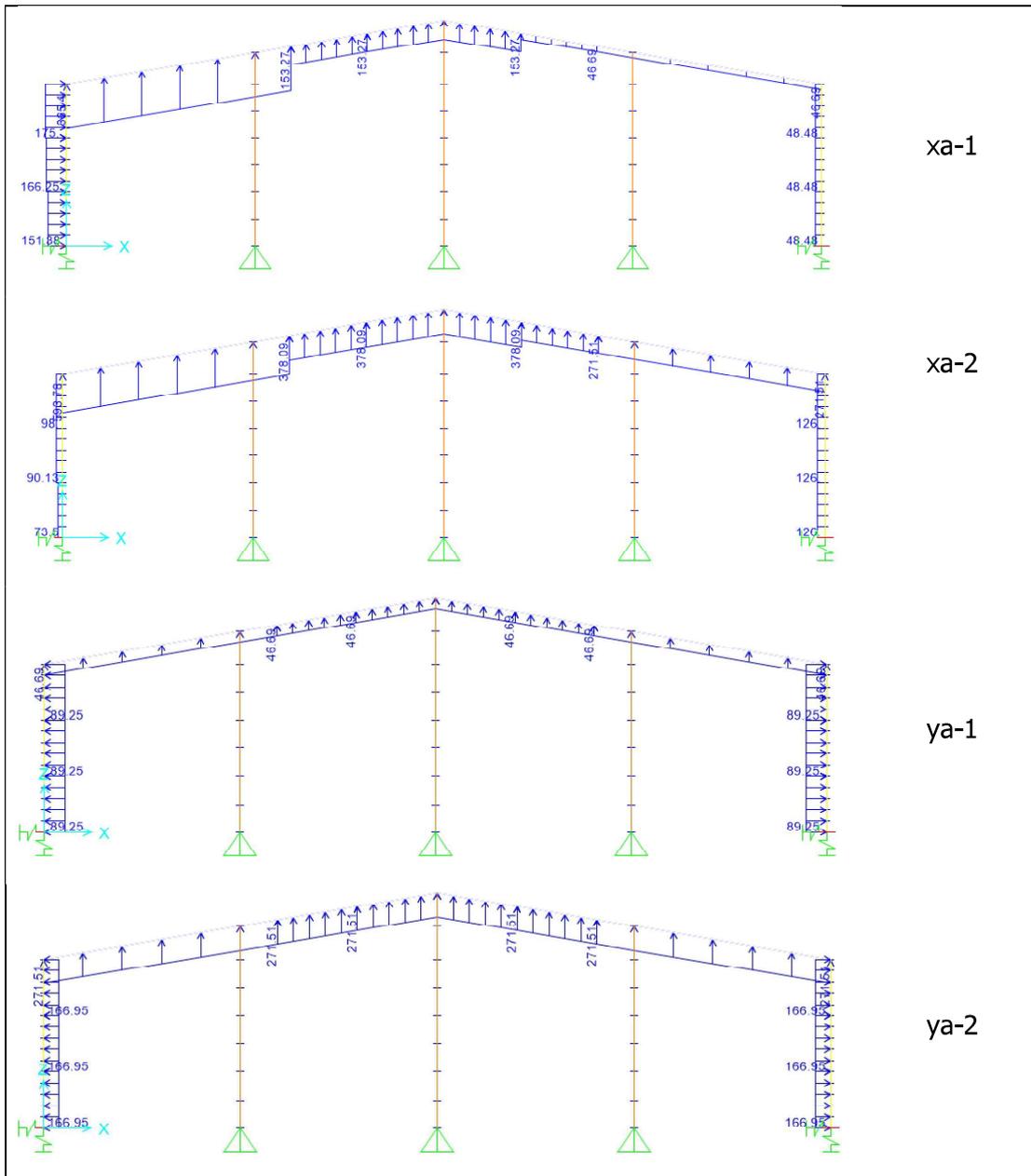
**Figura 42.** Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad B caso b según el LDVCR



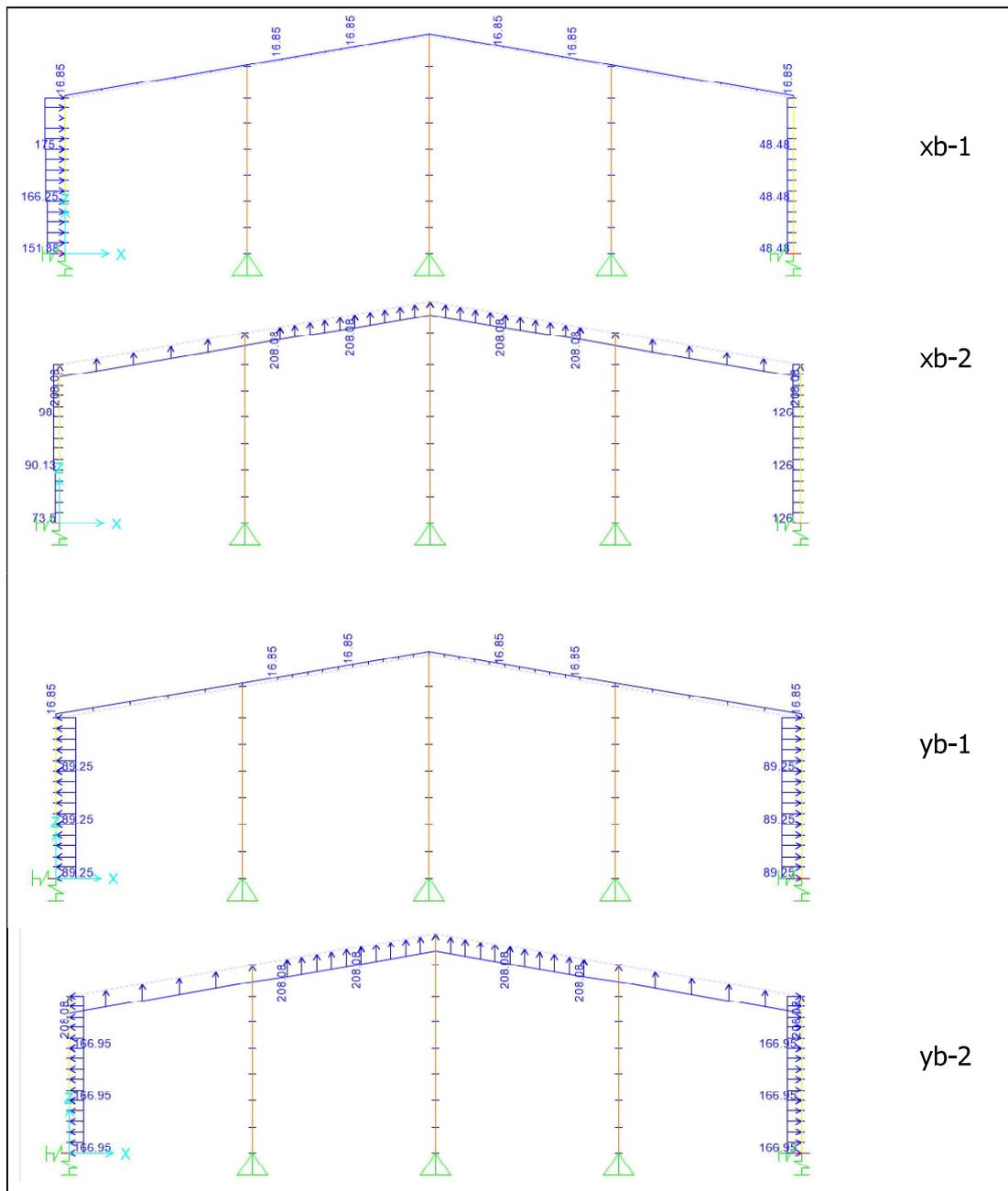
**Figura 43.** Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad C caso a según el LDVCR



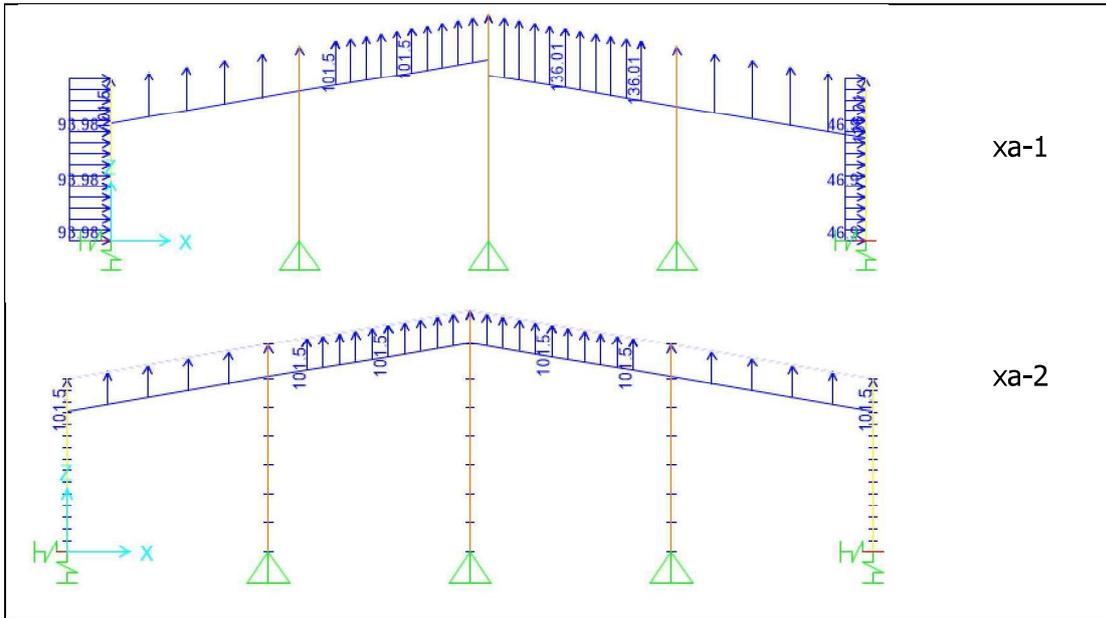
**Figura 44.** Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad C caso b según el LDVCR



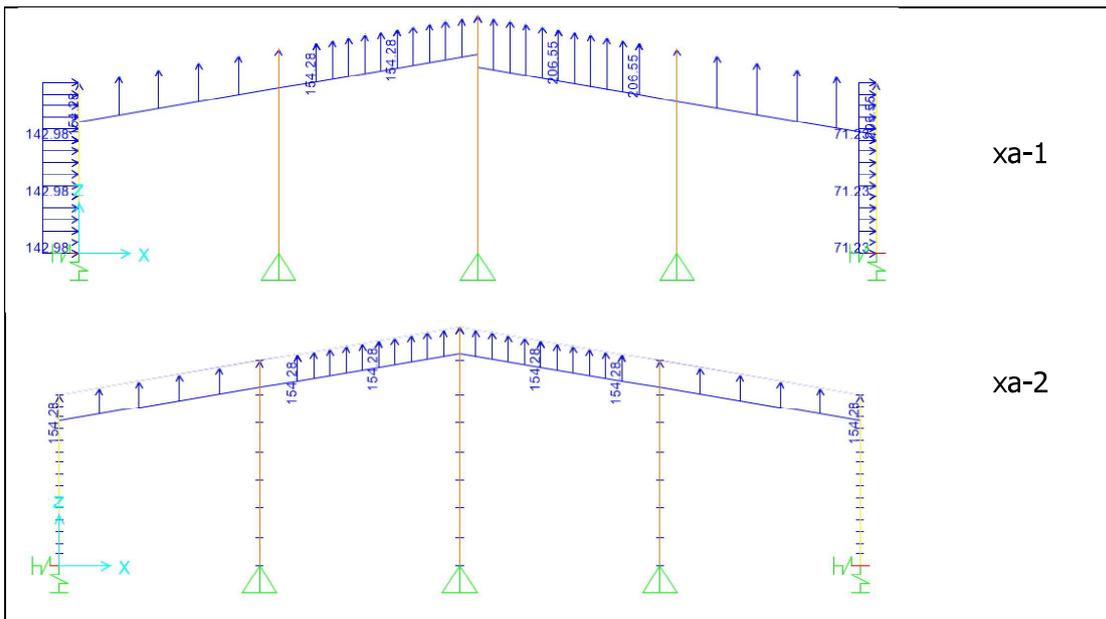
**Figura 45.** Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad D caso a según el LDVCR



**Figura 46.** Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad D caso b según el LDVCR

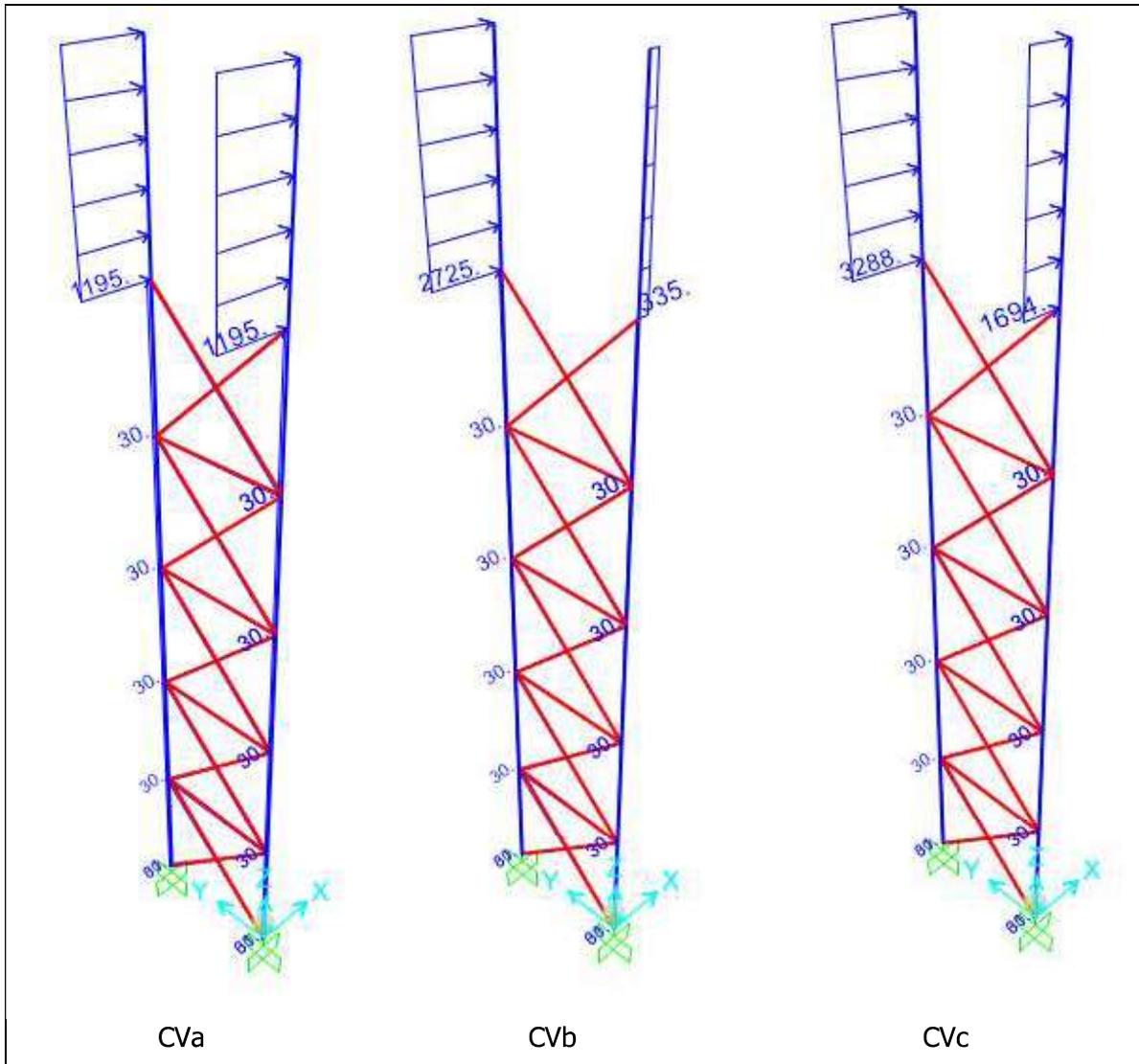


**Figura 47.** Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad de ciudad según el Reglamento de Construcciones

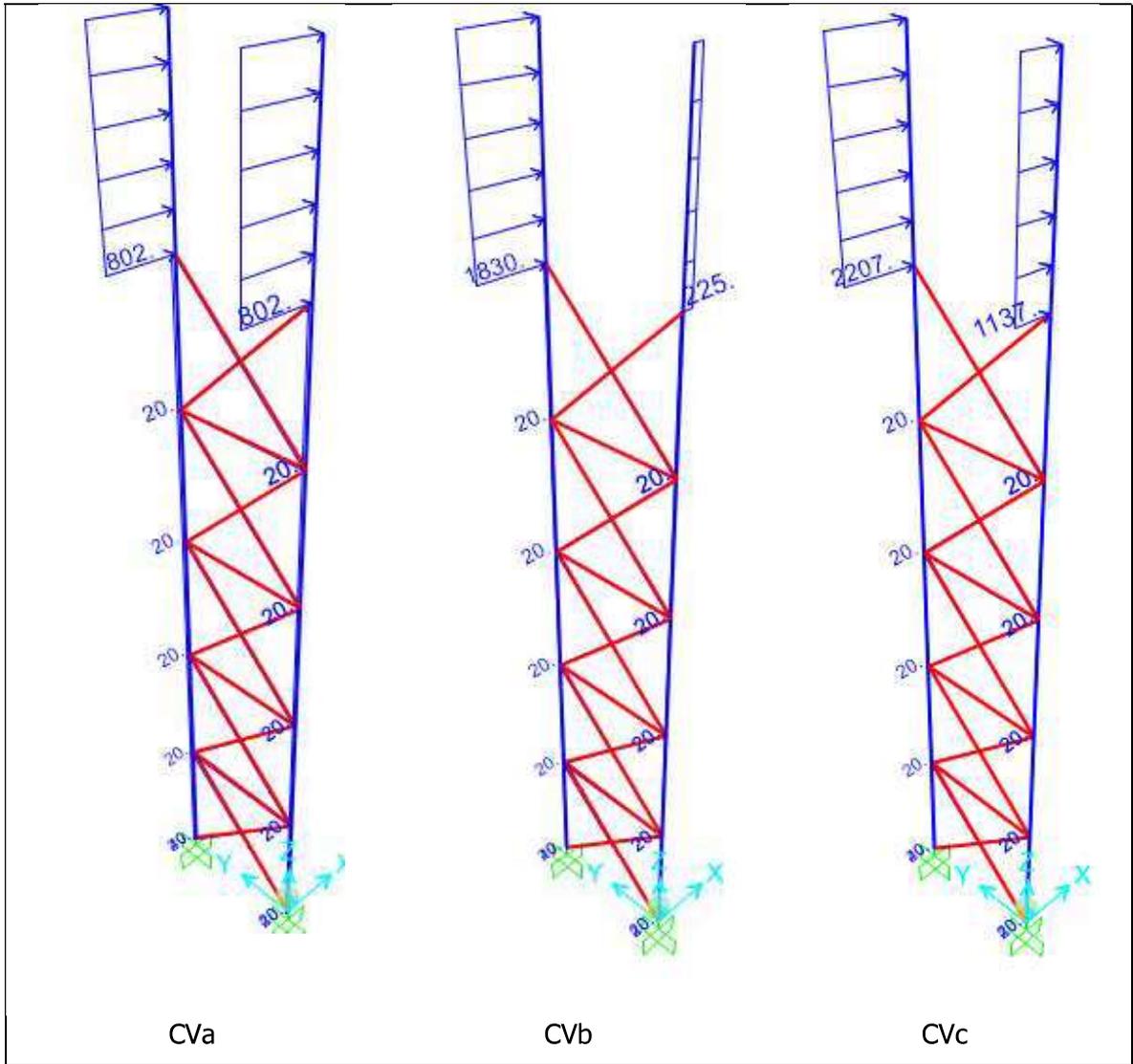


**Figura 48.** Distribución de cargas de la nave industrial para una rugosidad de campo abierto según el Reglamento de Construcciones

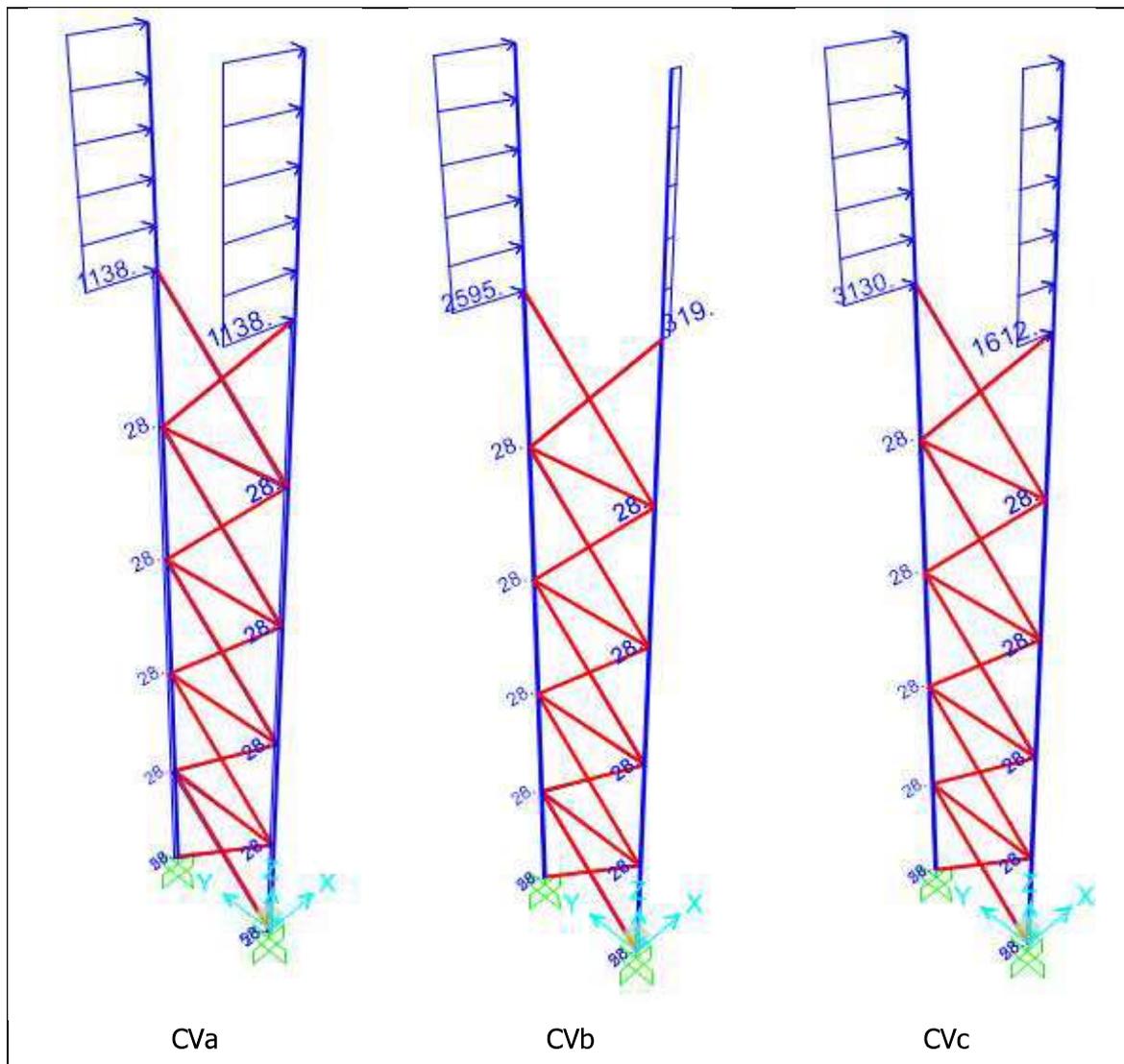
## 8.2 Apéndice A: Diagramas de carga de viento para el rótulo



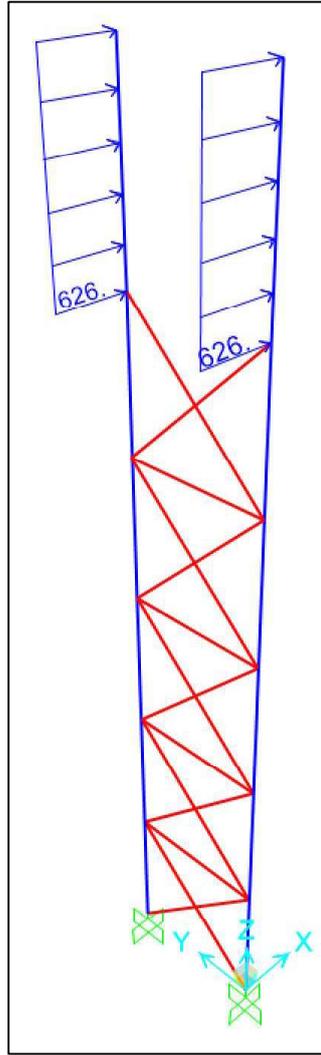
**Figura 49.** Distribución de cargas en el rótulo en Liberia según el LDVCR



**Figura 50.** Distribución de cargas en el rótulo en San José según el LDVCR



**Figura 51.** Distribución de cargas en el rótulo en Limón según el LDVCR



**Figura 52.** Distribución de cargas en el rótulo en la ciudad según el Reglamento de Construcciones

**8.3 Apéndice C: Memorias de cálculo para la nave industrial**

Funciones

**Definiciones Generales:**

Presiones

Categoría

Factores de Forma

► Clasificación de edificaciones según importancia:

B

► Ubicación de la estructura:

Construcciones en campo abierto frente al mar y similares

► Clasificación de estructura:

Edificaciones Cerradas

$h := 9,05 \text{ m}$        $\theta := 8,5^\circ$

Función para relacionar q equivalente con la altura correspondiente

$$q := Q(h, M_z) = 101,8 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Tabla . Presión debido al Reglamento de Construcciones

Elemento	FF	FI	Presión (kgf/m²)
Pared frente al viento	0.8	1	81.47
Pared de fondo	-0.4		-40.73
Techos frente al viento	-0.3		-30.43
Techo de fondo	-0.4		-40.73

Funciones

**Definiciones Generales:**

Presiones

Categoría

Factores de Forma

- ▶ Clasificación de edificaciones según importancia:

B

- ▶ Ubicación de la estructura:

Construcciones en ciudad o lugar de rugosidad comparable

- ▶ Clasificación de estructura:

Edificaciones Cerradas

$h := 9,05 \text{ m}$        $\theta := 8,5^\circ$

Función para relacionar q equivalente con la altura correspondiente

$$q := Q(h; M_{\theta}) = 57,1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Tabla . Presión debido al Reglamento de Construcciones

Elemento	FF	FI	Presión (kgf/m <sup>2</sup> )
Pared frente al viento	0.8	1	53.65
Pared de fondo	-0.4		-26.83
Techos frente al viento	-0.3		-20.04
Techo de fondo	-0.4		-26.83

Funciones

**Definiciones Generales:**

- ▶ Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente::

(CSCR tabla 4.1)  
(LDVCR tabla 2.1)

- ▶ Categoría de diseño por viento:

"III Normal"

(LDVCR sección 2.2)

- ▶ Nivel de demanda:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Nivel de demanda de servicio:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Objetivo de desempeño:

(LDVCR sección 2.5)

- ▶ Periodo de retorno (Tr):

▷ 700 yr

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Recurrencia:

▷ "Rara"

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Probabilidad de excedencia en 50 años (PE):

▷ 6,9%

(LDVCR tabla 2-2)

**Demanda por viento:**

- ▶ Zona:

(LDVCR tabla 3-1)

- ▶ Velocidad básica del viento para periodo de retorno de 50 años:

▷  $V_b = 125 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$

(LDVCR figura 3-1)

- ▶ Presión básica del viento:

▷  $q_b := 0,005 \cdot \left( \frac{\text{hr}}{\text{km}} \right)^2 \cdot V_b^2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$   
▷  $q_b = 78,1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$

(LDVCR ecuación 3-1)

► Presión del viento (q): (LDVCR sección 3.3)

▷ Coeficiente de exposición: (LDVCR sección 3.3.1)



► Altura de la edificación medida desde el terreno hasta la altura promedio del techo (para  $\theta \leq 10$  se toma la altura máxima):

$$h := 9,05 \text{ m}$$

► Categoría de exposición:

(LDVCR sección 3.3.1.2)

▷  $\alpha_e = 7$  (LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{ge} = 366 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{min,e} = 8 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

► Longitud de exposición:

▷  $L_{exp} = 800 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

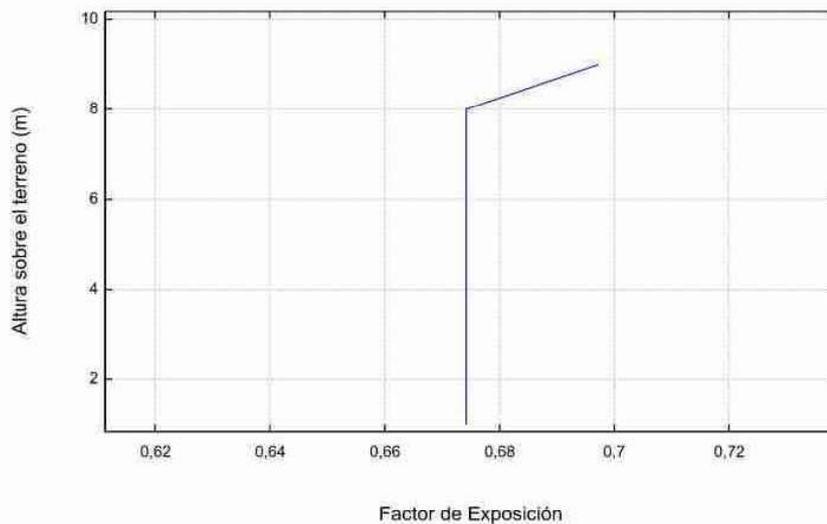
$$C_e(z) := \text{Max} \left( 2,01 \cdot \left( \frac{z}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} ; 2,01 \cdot \left( \frac{z_{min,e}}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} \right) \quad \text{(LDVCR ecuación 3-3)}$$

$$C_e(0 \text{ m}) = 0,67$$

$$C_e(h) = 0,7$$



Coeficiente de exposición según la altura



▷ Coeficiente de recurrencia: (LDVCR sección 3.3.2)

▶ Periodo de retorno:

$$▷ T_r = 700 \text{ yr}$$

▶ Coeficiente de recurrencia para resistencia:

$$▷ C_r = 1,6$$

(LDVCR tabla 3-3)

▶ Periodo de retorno de servicio:

$$▷ T_{rs} = 10 \text{ yr}$$

▶ Coeficiente de recurrencia para servicio:

$$▷ C_{rs} = 0,7$$

(LDVCR tabla 3-3)

▷ Coeficiente topográfico: (LDVCR sección 3.3.3)

En la sección 3.3.3. del LDVCR, se establece que los efectos del cambio de la velocidad del viento debidos a la topografía deberán ser incluidos cuando la estructura y la topografía cumplan con todas las siguientes condiciones:

- El cerro, sierra o escarpe está aislado y libre de obstrucciones hacia barlovento por otras características topográficas similares por una distancia de 100 veces la altura del cerro, sierra o escarpe, o por 3.2 km.
- El cerro, sierra o escarpe sobresale por encima de la altura de cualquier accidente geográfico hacia barlovento dentro de un radio de 3.2 km por un factor de 2 o más.
- La edificación está ubicada en la mitad superior de la sierra o cerro o cerca de la cresta de un escarpe.
- $H/L_h \geq 0.2$
- H es mayor o igual a 4.5 m para exposiciones C y D, y 18 m para exposiciones A y B.

$$▷ C_t(z) := \left(1 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3(z)\right)^2 \quad \text{(LDVCR ecuación 3-4)}$$

$$▷ C_t(0 \text{ m}) = 1$$

$$▷ C_t(h) = 1$$

▸ Coeficiente de direccionalidad: (LDVCR sección 3.3.4)



▸ Tipo de Edificación:

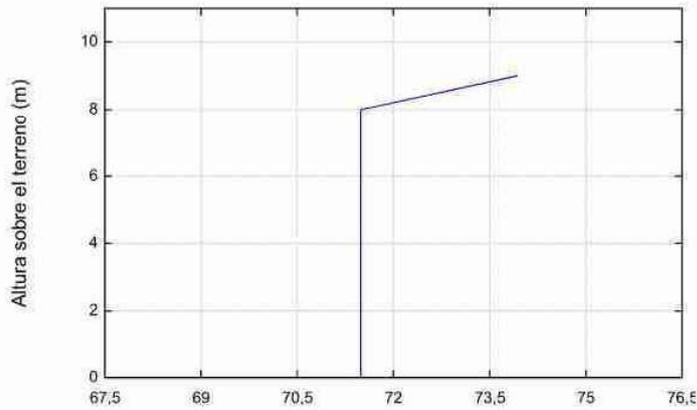
Sistema Principal Resistente a Fuerza de Viento ▼

▸  $C_d = 0,85$  (LDVCR tabla 3-5)



$q := q_D \cdot C \cdot C_e \cdot C_d$  (LDVCR ecuación 3-2)

Presión del viento según la altura



Presión del viento (kgf/m²)

Tabla 1: Presión del viento según la altura

Altura sobre el terreno (m)	Presión del viento (kgf/m²)
0	71.49
1	71.49
2	71.49
3	71.49
4	71.49
5	71.49
6	71.49
7	71.49
8	71.49
9.05	74.05

▣— Presión resumida

**Acciones el viento:**

- ▶ Calculo del efecto de ráfaga (G):

La edificación en estudio se considera una estructura rígida.

La edificación en estudio se considera como un edificio bajo.

--Calculo de Gf

- ▶ Efecto de ráfaga:

$$G = 0,85$$

(LDVCR Anexo B)

- ▶ Presión Interna

(LDVCR sección 4-5)

- ▶ Cerramiento:

Cerrado

- ▶ Coeficientes de presión interna:

$$GC_{PI} = 0,18$$

(LDVCR tabla 4-1)

- ▶ Presión externa:

- ▶ Techos con  $\theta < 10^\circ$  grados :

Dirección del viento paralelo y normal a la cumbrera :

- ▶ Ángulo del techo medido desde la horizontal:

$$\theta_{techo} := 8,5^\circ$$

- ▶ Altura media del techo:

$$h = 9,05 \text{ m}$$

- ▶ Relación h/L:

$$\frac{h}{L} = 0,2$$

A partir de lo anterior y la tabla, se determinan los siguiente coeficientes:

$$C_{P_{techoA}} = \begin{bmatrix} -0,9 \\ -0,9 \\ -0,5 \\ -0,3 \end{bmatrix} \quad (\text{LDVCR tabla A-3})$$

□

$$p := q_h \cdot G \cdot C_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad (\text{LDVCR ecuación 4-1 y 4-2})$$

- Presión de velocidad evaluada a la altura h:

$$q_h = 74,05 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

- Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad (\text{LDVCR tabla 4-1})$$

- Altura media del techo:

$$h = 9,05 \text{ m}$$

- Pared a Barlovento:

$$p := q_x \cdot G \cdot C_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad (\text{LDVCR ecuación 4-1 y 4-2})$$

- Coeficiente de presión para pared a barlovento:

$$C_{pbar} := 0,8 \quad (\text{LDVCR tabla A-1})$$

- Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad (\text{LDVCR tabla 4-1})$$

□

- Paredes laterales y a sotavento:

□

$$p := q_h \cdot G \cdot C_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad (\text{LDVCR ecuación 4-1 y 4-2})$$

- Relación L/B:

$$\frac{L}{B} = 1,1$$

- Coeficiente de presión para pared a sotavento:

$$C_{psot} = -0,477 \quad (\text{LDVCR tabla A-1})$$

- Coeficiente de presión para paredes laterales:

$$C_{plát} := -0,7 \quad (\text{LDVCR tabla A-1})$$

- Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad (\text{LDVCR tabla 4-1})$$



## Resumen de presiones el techo:

## Caso A:

## Presión debido al viento en el techo caso A

z (m)	q <sub>h</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0 a h/2	74.05	-0.9	0.85	-43.32	-69.98
h/2 a h		-0.9		-43.32	-69.98
h a 2h		-0.5		-18.14	-44.8
> 2h		-0.3		-5.55	-32.21

## Presión de servicio debido al viento en el techo caso A

z (m)	q <sub>h</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0 a h/2	74.05	-0.9	0.85	-22.45	-36.27
h/2 a h		-0.9		-22.45	-36.27
h a 2h		-0.5		-9.4	-23.22
> 2h		-0.3		-2.88	-16.7

## Caso B:

## Presión debido al viento en el techo caso B

z (m)	q <sub>h</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
z	74.05	-0.18	0.85	2	-24.66

## Presión de servicio debido al viento en el techo caso B

z (m)	q <sub>h</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
z	74.05	-0.18	0.85	1.04	-12.78

## Resumen de presiones para pared a barlovento:

## Presión debido al viento en la pared a barlovento

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
1.81	71.49	0.8	0.85	61.94	35.28
3.62	71.49			61.94	35.28
5.43	71.49			61.94	35.28
7.24	71.49			61.94	35.28
9.05	74.05			63.68	37.03

## Presión de servicio debido al viento en la pared a barlovento

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
1.81	37.06	0.8	0.85	32.11	18.29
3.62	37.06			32.11	18.29
5.43	37.06			32.11	18.29
7.24	37.06			32.11	18.29
9.05	38.38			33.01	19.19

Resumen de presiones para paredes laterales y a sotavento:

Presión debido al viento en las paredes laterales y a sotavento

Pared	$q_n$ (kgf/m <sup>2</sup> )	$C_p$	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
Laterales	74.05	-0.7	0.85	-30.73	-57.39
Sotavento		-0.48		-16.69	-43.35

Presión de servicio debido al viento en las paredes laterales y a sotavento

Pared	$q_n$ (kgf/m <sup>2</sup> )	$C_p$	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
Laterales	38.38	-0.7	0.85	-15.93	-29.75
Sotavento		-0.48		-8.65	-22.47

Funciones

**Definiciones Generales:**

- ▶ Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente::

(CSCR tabla 4.1)

(LDVCR tabla 2.1)

- ▶ Categoría de diseño por viento:

"III Normal"

(LDVCR sección 2.2)

- ▶ Nivel de demanda:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Nivel de demanda de servicio:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Objetivo de desempeño:

(LDVCR sección 2.5)

- ▶ Periodo de retorno (Tr):

 $\geq 700 \text{ yr}$ 

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Recurrencia:

 $\geq \text{"Rara"}$ 

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Probabilidad de excedencia en 50 años (PE):

 $\geq 6,9 \%$ 

(LDVCR tabla 2-2)

**Demanda por viento:**

- ▶ Zona:

(LDVCR tabla 3-1)

- ▶ Velocidad básica del viento para periodo de retorno de 50 años:

$$\geq V_b = 125 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

(LDVCR figura 3-1)

- ▶ Presión básica del viento:

$$q_b := 0,005 \cdot \left( \frac{\text{hr}}{\text{km}} \right)^2 \cdot V_b^2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\geq q_b = 78,1 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

(LDVCR ecuación 3-1)

► Presión del viento (q): (LDVCR sección 3.3)

▷ Coeficiente de exposición: (LDVCR sección 3.3.1)

► Altura de la edificación medida desde el terreno hasta la altura promedio del techo (para  $\theta \leq 10$  se toma la altura máxima):

$$h := 9,05 \text{ m}$$

► Categoría de exposición:

(LDVCR sección 3.3.1.2)

▷  $\alpha_e = 9,5$

(LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{ge} = 274 \text{ m}$

(LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{min,e} = 4 \text{ m}$

(LDVCR tabla 3-2)

► Longitud de exposición:

▷  $L_{exp} = \text{"No limite"}$

(LDVCR tabla 3-2)

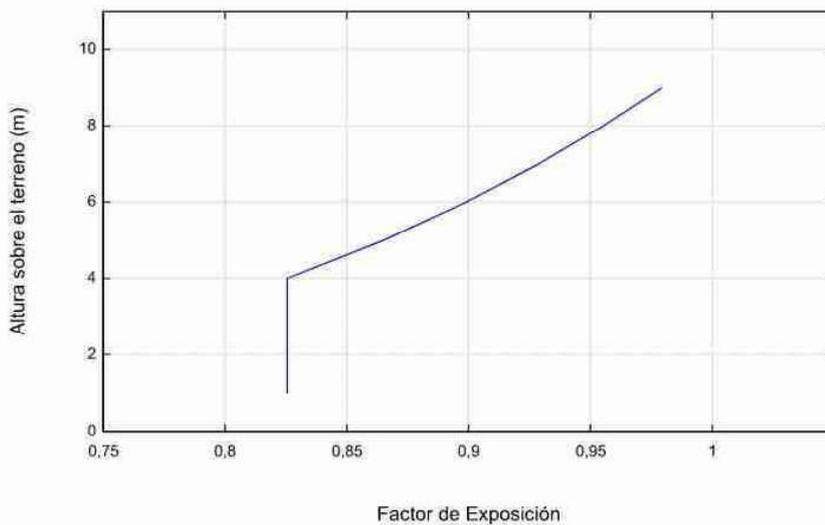
$$C_e(z) := \text{Max} \left( 2,01 \cdot \left( \frac{z}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} ; 2,01 \cdot \left( \frac{z_{min,e}}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} \right)$$

(LDVCR ecuación 3-3)

▷  $C_e(0 \text{ m}) = 0,83$

▷  $C_e(h) = 0,98$

Coeficiente de exposición según la altura



▷ Coeficiente de recurrencia: (LDVCR sección 3.3.2)

▷ Período de retorno:

$$▷ T_T = 700 \text{ yr}$$

▷ Coeficiente de recurrencia para resistencia:

$$▷ C_{TS} = 1,6 \quad \text{(LDVCR tabla 3-3)}$$

▷ Período de retorno de servicio:

$$▷ T_{TS} = 10 \text{ yr}$$

▷ Coeficiente de recurrencia para servicio:

$$▷ C_{TS} = 0,7 \quad \text{(LDVCR tabla 3-3)}$$

▷ Coeficiente topográfico: (LDVCR sección 3.3.3)

En la sección 3.3.3. del LDVCR, se establece que los efectos del cambio de la velocidad del viento debidos a la topografía deberán ser incluidos cuando la estructura y la topografía cumplan con todas las siguientes condiciones:

- El cerro, sierra o eskarpe está aislado y libre de obstrucciones hacia barlovento por otras características topográficas similares por una distancia de 100 veces la altura del cerro, sierra o eskarpe, o por 3.2 km.
- El cerro, sierra o eskarpe sobresale por encima de la altura de cualquier accidente geográfico hacia barlovento dentro de un radio de 3.2 km por un factor de 2 o más.
- La edificación está ubicada en la mitad superior de la sierra o cerro o cerca de la cresta de un eskarpe
- $H/L_h \geq 0,2$
- H es mayor o igual a 4.5 m para exposiciones C y D, y 18 m para exposiciones A y B.

$$▷ C_t(z) := \left(1 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3(z)\right)^2 \quad \text{(LDVCR ecuación 3-4)}$$

$$▷ C_t(0 \text{ m}) = 1$$

$$▷ C_t(h) = 1$$

▸ Coeficiente de direccionalidad: (LDVCR sección 3.3.4)



▸ Tipo de Edificación:

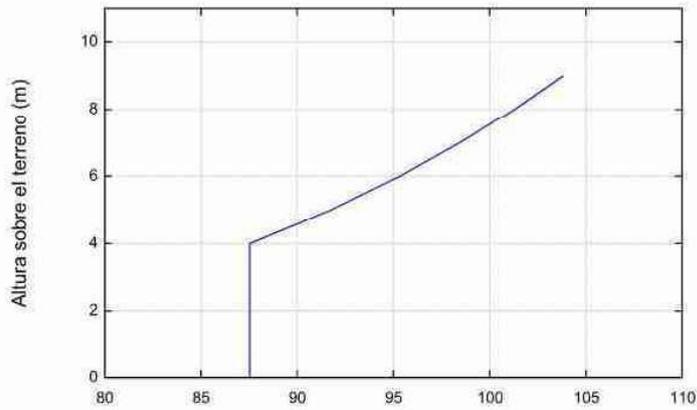
Sistema Principal Resistente a Fuerza de Viento ▼

▸  $C_d = 0,85$  (LDVCR tabla 3-5)



$q := q_D \cdot C \cdot C_e \cdot C_d$  (LDVCR ecuación 3-2)

Presión del viento según la altura



Presión del viento (kgf/m²)

Tabla 1: Presión del viento según la altura

Altura sobre el terreno (m)	Presión del viento (kgf/m²)
0	87.53
1	87.53
2	87.53
3	87.53
4	87.53
5	91.74
6	95.33
7	98.48
8	101.28
9.05	103.95

▣— Presión resumida

**Acciones el viento:**

- ▶ Cálculo del efecto de ráfaga (G):

La edificación en estudio se considera una estructura rígida.

La edificación en estudio se considera como un edificio bajo.

Cálculo de  $G_f$

- ▶ Efecto de ráfaga:

$$G = 0,85$$

(LDVCR Anexo B)

- ▶ Presión Interna

(LDVCR sección 4-5)

- ▶ Cerramiento:

Cerrado

- ▶ Coeficientes de presión interna:

$$GC_{PI} = 0,18$$

(LDVCR tabla 4-1)

- ▶ Presión externa:

▶ Techos con  $\theta < 10^\circ$  grados :

Dirección del viento paralelo y normal a la cumbrera :

- ▶ Ángulo del techo medido desde la horizontal:

$$\theta_{techo} := 8,5^\circ$$

- ▶ Altura media del techo:

$$h = 9,05 \text{ m}$$

- ▶ Relación h/L:

$$\frac{h}{L} = 0,2$$

A partir de lo anterior y la tabla, se determinan los siguiente coeficientes:

$$C_{P_{techoA}} = \begin{bmatrix} -0,9 \\ -0,9 \\ -0,5 \\ -0,3 \end{bmatrix} \quad (\text{LDVCR tabla A-3})$$

□

$$p := q_h \cdot G \cdot C_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad (\text{LDVCR ecuación 4-1 y 4-2})$$

- Presión de velocidad evaluada a la altura h:

$$q_h = 103,95 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

- Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad (\text{LDVCR tabla 4-1})$$

- Altura media del techo:

$$h = 9,05 \text{ m}$$

- Pared a Barlovento :

$$p := q_x \cdot G \cdot C_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad (\text{LDVCR ecuación 4-1 y 4-2})$$

- Coeficiente de presión para pared a barlovento:

$$C_{pbar} := 0,8 \quad (\text{LDVCR tabla A-1})$$

- Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad (\text{LDVCR tabla 4-1})$$

□

- Paredes laterales y a sotavento:

□

$$p := q_h \cdot G \cdot C_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad (\text{LDVCR ecuación 4-1 y 4-2})$$

- Relación L/B:

$$\frac{L}{B} = 1,1$$

- Coeficiente de presión para pared a sotavento:

$$C_{psot} = -0,477 \quad (\text{LDVCR tabla A-1})$$

- Coeficiente de presión para paredes laterales:

$$C_{plát} := -0,7 \quad (\text{LDVCR tabla A-1})$$

- Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad (\text{LDVCR tabla 4-1})$$



## Resumen de presiones el techo:

## Caso A:

## Presión debido al viento en el techo caso A

z (m)	q <sub>n</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0 a h/2	103.95	-0.9	0.85	-60.81	-98.23
h/2 a h		-0.9		-60.81	-98.23
h a 2h		-0.5		-25.47	-62.89
> 2h		-0.3		-7.8	-45.22

## Presión de servicio debido al viento en el techo caso A

z (m)	q <sub>n</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0 a h/2	103.95	-0.9	0.85	-31.52	-50.92
h/2 a h		-0.9		-31.52	-50.92
h a 2h		-0.5		-13.2	-32.6
> 2h		-0.3		-4.04	-23.44

## Caso B:

## Presión debido al viento en el techo caso B

z (m)	q <sub>n</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
z	103.95	-0.18	0.85	2.81	-34.61

## Presión de servicio debido al viento en el techo caso B

z (m)	q <sub>n</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
z	103.95	-0.18	0.85	1.45	-17.94

## Resumen de presiones para pared a barlovento:

## Presión debido al viento en la pared a barlovento

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
1.81	87.53	0.8	0.85	78.23	40.81
3.62	87.53			78.23	40.81
5.43	93.35			82.19	44.77
7.24	99.18			86.15	48.73
9.05	103.95			89.39	51.97

## Presión de servicio debido al viento en la pared a barlovento

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
1.81	45.37	0.8	0.85	40.55	21.15
3.62	45.37			40.55	21.15
5.43	48.39			42.6	23.2
7.24	51.41			44.66	25.26
9.05	53.88			46.34	26.94

Resumen de presiones para paredes laterales y a sotavento:

Presión debido al viento en las paredes laterales y a sotavento

Pared	$q_n$ (kgf/m <sup>2</sup> )	$C_p$	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
Laterales	103.95	-0.7	0.85	-43.14	-80.56
Sotavento		-0.48		-23.43	-60.86

Presión de servicio debido al viento en las paredes laterales y a sotavento

Pared	$q_n$ (kgf/m <sup>2</sup> )	$C_p$	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
Laterales	53.88	-0.7	0.85	-22.36	-41.76
Sotavento		-0.48		-12.15	-31.54

Funciones

**Definiciones Generales:**

- ▶ Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente::

(CSCR tabla 4.1)  
(LDVCR tabla 2.1)

- ▶ Categoría de diseño por viento:

(LDVCR sección 2.2)

- ▶ Nivel de demanda:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Nivel de demanda de servicio:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Objetivo de desempeño:

(LDVCR sección 2.5)

- ▶ Periodo de retorno (Tr):

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Recurrencia:

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Probabilidad de excedencia en 50 años (PE):

(LDVCR tabla 2-2)

**Demanda por viento:**

- ▶ Zona:

(LDVCR tabla 3-1)

- ▶ Velocidad básica del viento para periodo de retorno de 50 años:

(LDVCR figura 3-1)

- ▶ Presión básica del viento:


(LDVCR ecuación 3-1)

► Presión del viento (q): (LDVCR sección 3.3)

▷ Coeficiente de exposición: (LDVCR sección 3.3.1)



► Altura de la edificación medida desde el terreno hasta la altura promedio del techo (para  $\theta \leq 10$  se toma la altura máxima):

$$h := 9,05 \text{ m}$$

► Categoría de exposición:

(LDVCR sección 3.3.1.2)

▷  $\alpha_e = 11,5$

(LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{ge} = 213 \text{ m}$

(LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{min,e} = 2 \text{ m}$

(LDVCR tabla 3-2)

► Longitud de exposición:

▷  $L_{exp} = 800 \text{ m}$

(LDVCR tabla 3-2)

$$C_e(z) := \text{Max} \left( 2,01 \cdot \left( \frac{z}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} ; 2,01 \cdot \left( \frac{z_{min,e}}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} \right)$$

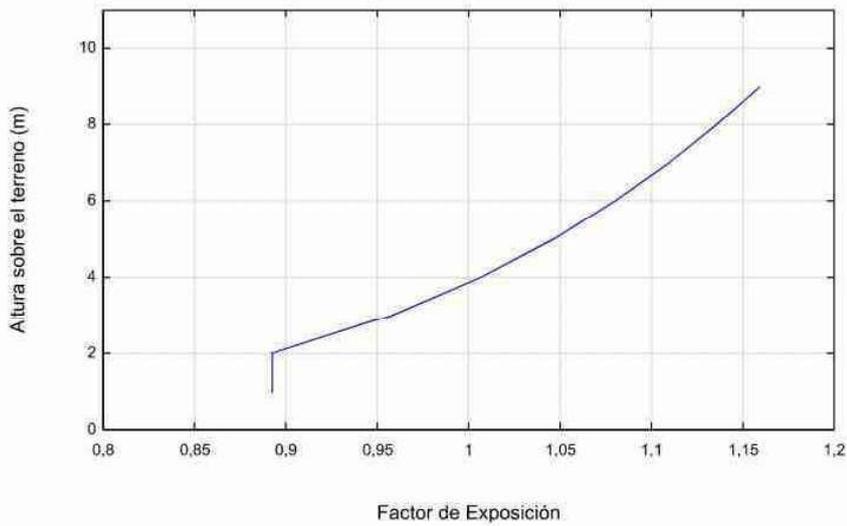
(LDVCR ecuación 3-3)

▷  $C_e(0 \text{ m}) = 0,89$

▷  $C_e(h) = 1,16$



Coefficiente de exposición según la altura



▷ Coeficiente de recurrencia: (LDVCR sección 3.3.2)



▷ Periodo de retorno:

$$▷ T_r = 700 \text{ yr}$$

▷ Coeficiente de recurrencia para resistencia:

$$▷ C_r = 1,6 \quad \text{(LDVCR tabla 3-3)}$$

▷ Periodo de retorno de servicio:

$$▷ T_{rs} = 10 \text{ yr}$$

▷ Coeficiente de recurrencia para servicio:

$$▷ C_{rs} = 0,7 \quad \text{(LDVCR tabla 3-3)}$$

▷ Coeficiente topográfico: (LDVCR sección 3.3.3)



En la sección 3.3.3. del LDVCR, se establece que los efectos del cambio de la velocidad del viento debidos a la topografía deberán ser incluidos cuando la estructura y la topografía cumplan con todas las siguientes condiciones:

- El cerro, sierra o escarpe está aislado y libre de obstrucciones hacia barlovento por otras características topográficas similares por una distancia de 100 veces la altura del cerro, sierra o escarpe, o por 3.2 km.
- El cerro, sierra o escarpe sobresale por encima de la altura de cualquier accidente geográfico hacia barlovento dentro de un radio de 3.2 km por un factor de 2 o más.
- La edificación está ubicada en la mitad superior de la sierra o cerro o cerca de la cresta de un escarpe
- $H/L_h \geq 0.2$
- H es mayor o igual a 4.5 m para exposiciones C y D, y 18 m para exposiciones A y B.



$$▷ C_t(z) := \left( 1 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3(z) \right)^2 \quad \text{(LDVCR ecuación 3-4)}$$

$$▷ C_t(0 \text{ m}) = 1$$

$$▷ C_t(h) = 1$$

▸ Coeficiente de direccionalidad: (LDVCR sección 3.3.4)



▸ Tipo de Edificación:

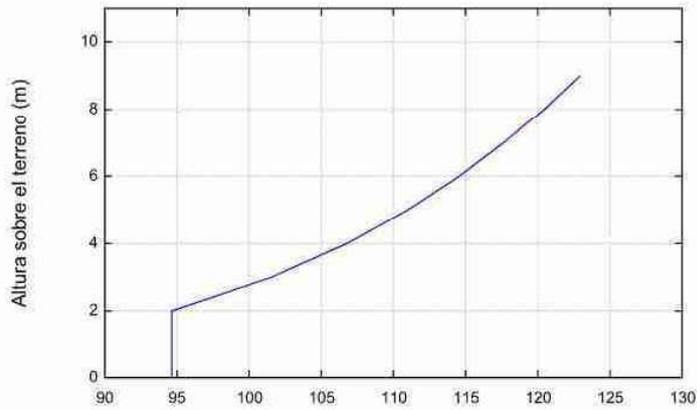
Sistema Principal Resistente a Fuerza de Viento ▼

▸  $C_{di} = 0,85$  (LDVCR tabla 3-5)



$q := q_D \cdot C_s \cdot C_{pe} \cdot C_{di}$  (LDVCR ecuación 3-2)

Presión del viento según la altura



Presión del viento (kgf/m²)

Tabla 1: Presión del viento según la altura

Altura sobre el terreno (m)	Presión del viento (kgf/m²)
0	94.63
1	94.63
2	94.63
3	101.55
4	106.76
5	110.98
6	114.56
7	117.67
8	120.43
9.05	123.04

▣— Presión resumida

**Acciones el viento:**

- ▶ Calculo del efecto de ráfaga (G):

La edificación en estudio se considera una estructura rígida.

La edificación en estudio se considera como un edificio bajo.

--Calculo de Gf

- ▶ Efecto de ráfaga:

$$G = 0,85$$

(LDVCR Anexo B)

- ▶ Presión Interna

(LDVCR sección 4-5)

- ▶ Cerramiento:

Cerrado

- ▶ Coeficientes de presión interna:

$$GC_{PI} = 0,18$$

(LDVCR tabla 4-1)

- ▶ Presión externa:

- ▶ Techos con  $\theta < 10^\circ$  grados :

Dirección del viento paralelo y normal a la cumbrera :

- ▶ Ángulo del techo medido desde la horizontal:

$$\theta_{techo} := 8,5^\circ$$

- ▶ Altura media del techo:

$$h = 9,05 \text{ m}$$

- ▶ Relación h/L:

$$\frac{h}{L} = 0,2$$

A partir de lo anterior y la tabla, se determinan los siguiente coeficientes:

$$C_{P_{techoA}} = \begin{bmatrix} -0,9 \\ -0,9 \\ -0,5 \\ -0,3 \end{bmatrix} \quad (\text{LDVCR tabla A-3})$$

□

$$p := q_h \cdot G \cdot C_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad (\text{LDVCR ecuación 4-1 y 4-2})$$

- Presión de velocidad evaluada a la altura h:

$$q_h = 123,04 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

- Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad (\text{LDVCR tabla 4-1})$$

- Altura media del techo:

$$h = 9,05 \text{ m}$$

- Pared a Barlovento :

$$p := q_x \cdot G \cdot C_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad (\text{LDVCR ecuación 4-1 y 4-2})$$

- Coeficiente de presión para pared a barlovento:

$$C_{pbar} := 0,8 \quad (\text{LDVCR tabla A-1})$$

- Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad (\text{LDVCR tabla 4-1})$$

□

- Paredes laterales y a sotavento:

□

$$p := q_h \cdot G \cdot C_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad (\text{LDVCR ecuación 4-1 y 4-2})$$

- Relación L/B:

$$\frac{L}{B} = 1,1$$

- Coeficiente de presión para pared a sotavento:

$$C_{psot} = -0,477 \quad (\text{LDVCR tabla A-1})$$

- Coeficiente de presión para paredes laterales:

$$C_{plát} := -0,7 \quad (\text{LDVCR tabla A-1})$$

- Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad (\text{LDVCR tabla 4-1})$$



## Resumen de presiones el techo:

## Caso A:

## Presión debido al viento en el techo caso A

z (m)	q <sub>n</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0 a h/2	123.04	-0.9	0.85	-71.98	-116.28
h/2 a h		-0.9		-71.98	-116.28
h a 2h		-0.5		-30.15	-74.44
> 2h		-0.3		-9.23	-53.52

## Presión de servicio debido al viento en el techo caso A

z (m)	q <sub>n</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0 a h/2	123.04	-0.9	0.85	-37.31	-60.27
h/2 a h		-0.9		-37.31	-60.27
h a 2h		-0.5		-15.63	-38.59
> 2h		-0.3		-4.78	-27.74

## Caso B:

## Presión debido al viento en el techo caso B

z (m)	q <sub>n</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
z	123.04	-0.18	0.85	3.32	-40.97

## Presión de servicio debido al viento en el techo caso B

z (m)	q <sub>n</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
z	123.04	-0.18	0.85	1.72	-21.24

## Resumen de presiones para pared a barlovento:

## Presión debido al viento en la pared a barlovento

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
1.81	94.63	0.8	0.85	86.5	42.2
3.62	104.92			93.49	49.2
5.43	112.58			98.71	54.41
7.24	118.36			102.63	58.34
9.05	123.04			105.82	61.52

## Presión de servicio debido al viento en la pared a barlovento

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	C <sub>p</sub>	G	Presión neta (+GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>p</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
1.81	49.05	0.8	0.85	44.84	21.88
3.62	54.39			48.46	25.5
5.43	58.36			51.16	28.2
7.24	61.35			53.2	30.24
9.05	63.78			54.85	31.89

Resumen de presiones para paredes laterales y a sotavento:

Presión debido al viento en las paredes laterales y a sotavento

Pared	$q_n$ (kgf/m <sup>2</sup> )	$C_p$	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
Laterales	123.04	-0.7	0.85	-51.06	-95.36
Sotavento		-0.48		-27.74	-72.04

Presión de servicio debido al viento en las paredes laterales y a sotavento

Pared	$q_n$ (kgf/m <sup>2</sup> )	$C_p$	G	Presión neta (+GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión neta (-GC <sub>pi</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
Laterales	63.78	-0.7	0.85	-26.47	-49.43
Sotavento		-0.48		-14.38	-37.34

## **8.4 Apéndice D: Memorias de cálculo para la ventanería**

Funciones

**Definiciones Generales Para Las Ventanas:**

Presiones

Categoría

Factores de Forma

- ▶ Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente::

A

(CSCR tabla 4.1)

(LDVCR tabla 2.1)

- ▶ Ubicación de la estructura:

Construcciones en ciudad o lugar de rugosidad comparable

- ▶ Clasificación de estructura:

Edificaciones Cerradas

(LDVCR sección 2.3)

$h_i = 75, m$

Función para relacionar q equivalente con la altura correspondiente

$$q := Q(h; M_g) = 120 \frac{kgf}{m^2}$$

**Presión debido al Reglamento de Construcciones**

Elemento	FF	FI	Presión (kgf/m²)
Pared frente al viento	0,8	1,2	115,2
Pared de fondo	-0,4		-57,6

☐ Funciones \_\_\_\_\_

**Definiciones Generales Para Las Ventanas:**

☐ Presiones \_\_\_\_\_

☐ Categoría \_\_\_\_\_

☐ Factores de Forma \_\_\_\_\_

☐ \_\_\_\_\_

- ▶ Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente.:

B ▼

(CSCR tabla 4.1)

(LDVCR tabla 2.1)

- ▶ Ubicación de la estructura:

Construcciones en ciudad o lugar de rugosidad comparable ▼

- ▶ Clasificación de estructura:

Edificaciones Cerradas ▼

(LDVCR sección 2.3)

h = 75 m

☐ Función para relacionar q equivalente con la altura correspondiente \_\_\_\_\_

$$q = Q(h; M_v) = 120 \frac{kgf}{m^2}$$

☐ \_\_\_\_\_

Presión debido al Reglamento de Construcciones

Elemento	FF	FI	Presión (kgf/m <sup>2</sup> )
Pared frente al viento	0,8	1	96
Pared de fondo	-0,4		-48

## Funciones

## Definiciones Generales:

- ▶ Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente::

(CSCR tabla 4.1)

(LDVCR tabla 2.1)

- ▶ Categoría de diseño por viento:

"I Esencial"

(LDVCR sección 2.2)

- ▶ Nivel de demanda:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Nivel de demanda de servicio:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Objetivo de desempeño:

(LDVCR sección 2.5)

- ▶ Periodo de retorno (Tr):

 $\triangleright 1700 \text{ yr}$ 

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Recurrencia:

 $\triangleright$  "Muy Rara"

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Probabilidad de excedencia en 50 años (PE):

 $\triangleright 2,9\%$ 

(LDVCR tabla 2-2)

## Demanda por viento:

- ▶ Zona:

(LDVCR tabla 3-1)

- ▶ Velocidad básica del viento para periodo de retorno de 50 años:

$$\triangleright V_b = 115 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

(LDVCR figura 3-1)

- ▶ Presión básica del viento:

$$q_b = 0,005 \cdot \left( \frac{\text{hr}}{\text{km}} \right)^2 \cdot V_b^2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\triangleright q_b = 66,125 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

(LDVCR ecuación 3-1)



**Coeficiente de recurrencia:** (LDVCR sección 3.3.2)

---

- ▶ **Periodo de retorno:**

◦  $T_r = 1700 \text{ yr}$
- ▶ **Coeficiente de recurrencia para resistencia:**

◦  $C_r = 1,83$  (LDVCR tabla 3-3)
- ▶ **Periodo de retorno de servicio:**

◦  $T_{rs} = 50 \text{ yr}$
- ▶ **Coeficiente de recurrencia para servicio:**

◦  $C_{rs} = 1$  (LDVCR tabla 3-3)

**Coeficiente topográfico:** (LDVCR sección 3.3.3)

En la sección 3.3.3. del LDVCR, se establece que los efectos del cambio de la velocidad del viento debidos a la topografía deberán ser incluidos cuando la estructura y la topografía cumplan con todas las siguientes condiciones:

- El cerro, sierra o escarpe está aislado y libre de obstrucciones hacia barlovento por otras características topográficas similares por una distancia de 100 veces la altura del cerro, sierra o escarpe, o por 3.2 km.
- El cerro, sierra o escarpe sobresale por encima de la altura de cualquier accidente geográfico hacia barlovento dentro de un radio de 3.2 km por un factor de 2 o más.
- La edificación está ubicada en la mitad superior de la sierra o cerro o cerca de la cresta de un escarpe.
- $H/L_h \geq 0.2$
- H es mayor o igual a 4.5 m para exposiciones C y D, y 18 m para exposiciones A y B.

◦  $C_r(h) = 1$       ◦  $C_r(0 \text{ m}) = 1$

**Coeficiente de direccionalidad:** (LDVCR sección 3.3.4)

---

▶ **Tipo de Edificación:**

Componentes y Revestimientos ▼

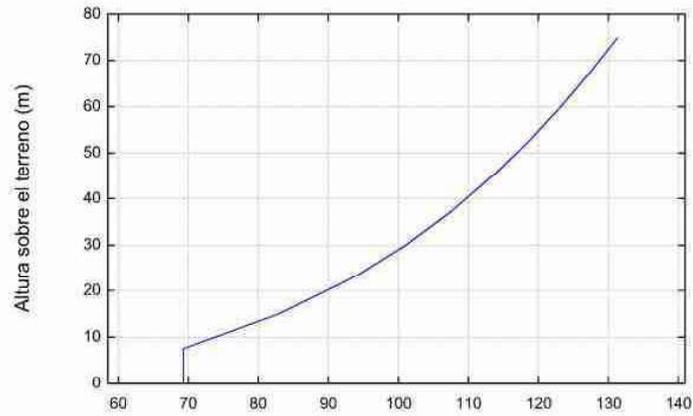
◦  $C_d = 0,85$  (LDVCR tabla 3-5)



$$q := q_b \cdot C \cdot C_z \cdot C_d$$

(LDVCR ecuación 3-2)

Presión del viento según la altura



Presión del viento (kgf/m²)

Tabla 1: Presión del viento según la altura

Altura sobre el terreno (m)	Presión del viento (kgf/m²)
0	69.3
7.5	69.3
15	82.94
22.5	93.12
30	101.1
37.5	107.76
45	113.52
52.5	118.63
60	123.24
67.5	127.46
75	131.36

**Acciones el viento:**

▶ **Parámetros Geométricos:**

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación normal a la dirección del viento:

$$B := 16,6 \text{ m}$$

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación perpendicular a la dirección del viento:

$$L := 43,1 \text{ m}$$

- ▶ Altura media del techo:

$$h := 7,5 \text{ m}$$

- ▶ Dimensión horizontal de la ventana:

$$b_v := 2,65 \text{ m}$$

- ▶ Dimensión vertical de la ventana:

$$h_v := 2,5 \text{ m}$$

▶ **Presión Interna**

(LDVCR sección 4-5)



▶ **Cerramiento:**

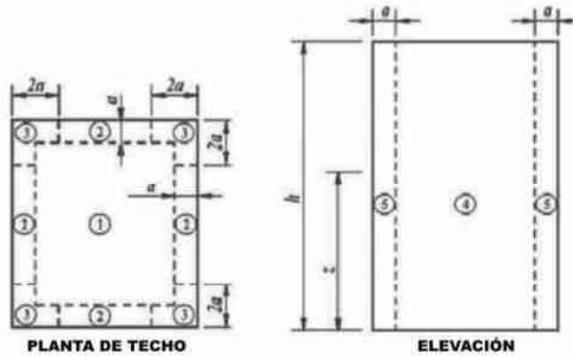
▶ **Coefficientes de presión interna:**

$$GC_{pi} = 0,18$$

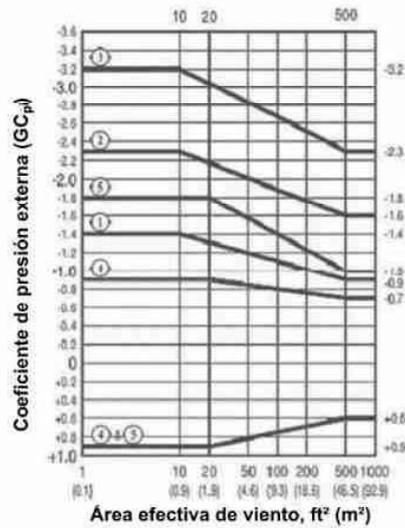
(LDVCR tabla 4-1)

► Presión externa:

Debido a una limitación del LDVCR ante los componentes y fachadas de edificios para alturas mayores a los 18 m, se decidió consultar una fuente externa para la definición de los coeficientes de presión. Se tomará como referencia el ASCE7-16.



(ASCE7-16 Figura 30.5-1)



(ASCE7-16 Figura 30.5-1)

Donde:

- a = 10% de la menor dimensión horizontal, no menor a 3 ft (0.9 m).
- h = Altura promedio del techo, excepto para techos con un ángulo menor a 10 grados.
- z = Altura con respecto al terreno, en ft. (m)
- θ = Angulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

► Área efectiva de la ventana:

$$A := D_v \cdot h_v = 6,6 \text{ m}^2$$

► a:

$$a := \text{Max}(\text{Min}(0, 1 \cdot L; 0, 1 \cdot B); 0,9 \text{ m}) = 1,66 \text{ m}$$

► Cálculo de la presión en las paredes:

$$p := q_z \cdot GC_p - q_h \cdot GC_{pi} \quad \text{(LDVCR ecuación 4-1 y 4-2)}$$

A partir del ASCE se definen los siguientes coeficientes para las zonas respectivas para las paredes, debido a que es la ubicación de las ventanas (Zonas 4 y 5):

► Zona 4:

► Presión Positiva:

$$GC_{p4p} := 0,8 \quad \text{(ASCE7-16 Figura 30.5-1)}$$

► Presión Negativa:

$$GC_{p4n} := -0,8 \quad \text{(ASCE7-16 Figura 30.5-1)}$$

► Zona 5:

► Presión Positiva:

$$GC_{p5p} := 0,8 \quad \text{(ASCE7-16 Figura 30.5-1)}$$

► Presión Negativa:

$$GC_{p5n} := -1,5 \quad \text{(ASCE7-16 Figura 30.5-1)}$$

► Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18 \quad \text{(LDVCR tabla 4-1)}$$



## Presión debido al viento en la zona 4

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (+GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (-GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0,00	69,30	79,09	-128,73
15,00	82,94	89,99	
30,00	101,10	104,53	
45,00	113,52	114,46	
60,00	123,24	122,24	
75,00	131,36	128,73	

## Presión de servicio debido al viento en la zona 4

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (+GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (-GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0,00	69,30	50,85	-82,76
15,00	82,94	57,86	
30,00	101,10	67,20	
45,00	113,52	73,59	
60,00	123,24	78,59	
75,00	131,36	82,76	

## Presión debido al viento en la zona 5

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (+GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (-GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0,00	69,30	79,09	-220,68
15,00	82,94	89,99	
30,00	101,10	104,53	
45,00	113,52	114,46	
60,00	123,24	122,24	
75,00	131,36	128,73	

## Presión de servicio debido al viento en la zona 5

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (+GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (-GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0	69,3	50,85	-141,88
15	82,94	57,86	
30	101,1	67,2	
45	113,52	73,59	
60	123,24	78,59	
75	131,36	82,76	

## Funciones

## Definiciones Generales:

- ▶ Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente::

(CSCR tabla 4.1)

(LDVCR tabla 2.1)

- ▶ Categoría de diseño por viento:

"III Normal"

(LDVCR sección 2.2)

- ▶ Nivel de demanda:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Nivel de demanda de servicio:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Objetivo de desempeño:

(LDVCR sección 2.5)

- ▶ Periodo de retorno (Tr):

▶ 700 yr

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Recurrencia:

▶ "Rara"

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Probabilidad de excedencia en 50 años (PE):

▶ 6,9%

(LDVCR tabla 2-2)

## Demanda por viento:

- ▶ Zona:

(LDVCR tabla 3-1)

- ▶ Velocidad básica del viento para periodo de retorno de 50 años:

$$V_b = 115 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

(LDVCR figura 3-1)

- ▶ Presión básica del viento:

$$q_b = 0,005 \cdot \left( \frac{\text{hr}}{\text{km}} \right)^2 \cdot V_b^2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$q_b = 66,125 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

(LDVCR ecuación 3-1)

► Presión del viento (q): (LDVCR sección 3.3)

▷ Coeficiente de exposición: (LDVCR sección 3.3.1)

► Altura de la edificación medida desde el terreno hasta la altura promedio del techo

$$h := 75 \text{ m}$$

► Categoría de exposición:

(LDVCR sección 3.3.1.2)

▷  $\alpha_e = 7$  (LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{ge} = 366 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{min,e} = 8 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

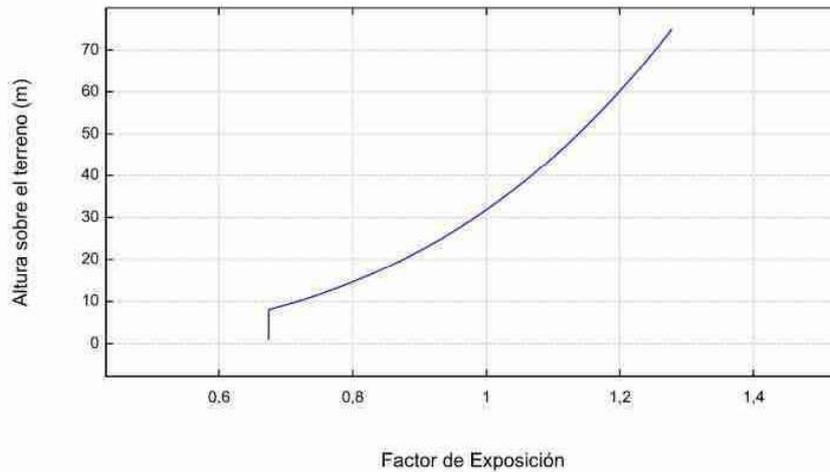
► Longitud de exposición:

▷  $L_{exp} = 800 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

$$C_e(z) := \text{Max} \left( 2,01 \cdot \left( \frac{z}{z_{ge}} \right)^{\frac{\alpha_e}{7}} ; 2,01 \cdot \left( \frac{z_{min,e}}{z_{ge}} \right)^{\frac{\alpha_e}{7}} \right) \quad \text{(LDVCR ecuación 3-3)}$$

$$C_e(h) = 1,2779 \quad C_e(z_{min,e}) = 0,6742$$

Coeficiente de exposición según la altura



▣ ▶ Coeficiente de recurrencia: (LDVCR sección 3.3.2)

---

▶ Período de retorno:

▫  $T_r = 700 \text{ yr}$

▶ Coeficiente de recurrencia para resistencia:

▫  $C_r = 1,6$  (LDVCR tabla 3-3)

▶ Período de retorno de servicio:

▫  $T_{rs} = 10 \text{ yr}$

▶ Coeficiente de recurrencia para servicio:

▫  $C_{rs} = 0,7$  (LDVCR tabla 3-3)

▣ ▶ Coeficiente topográfico: (LDVCR sección 3.3.3)

▣ En la sección 3.3.3. del LDVCR, se establece que los efectos del cambio de la velocidad del viento debidos a la topografía deberán ser incluidos cuando la estructura y la topografía cumplan con todas las siguientes condiciones:

El cerro, sierra o escarpe está aislado y libre de obstrucciones hacia barlovento por otras características topográficas similares por una distancia de 100 veces la altura del cerro, sierra o escarpe, o por 3.2 km.

El cerro, sierra o escarpe sobresale por encima de la altura de cualquier accidente geográfico hacia barlovento dentro de un radio de 3.2 km por un factor de 2 o más.

La edificación está ubicada en la mitad superior de la sierra o cerro o cerca de la cresta de un escarpe.

$H/L_h \geq 0.2$

$H$  es mayor o igual a 4.5 m para exposiciones C y D, y 18 m para exposiciones A y B.

---

$$\text{▫ } C_r(h) = 1 \quad C_t(0 \text{ m}) = 1$$

▣ ▶ Coeficiente de direccionalidad: (LDVCR sección 3.3.4)

---

▶ Tipo de Edificación:

Techos Arqueados ▼

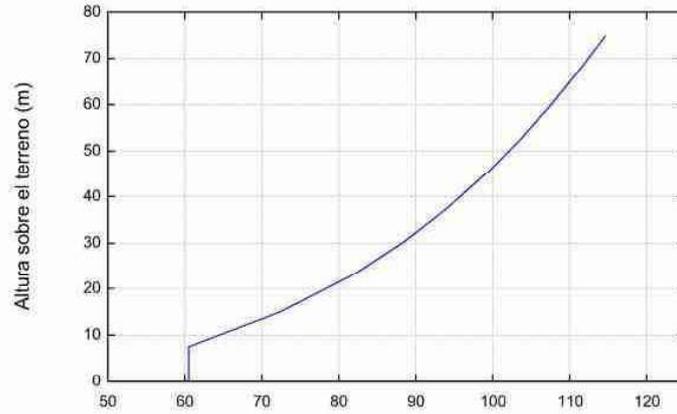
▫  $C_d = 0,85$  (LDVCR tabla 3-5)



$$q := q_b \cdot C \cdot C_z \cdot C_d$$

(LDVCR ecuación 3-2)

Presión del viento según la altura



Presión del viento (kgf/m²)

Tabla 1: Presión del viento según la altura

Altura sobre el terreno (m)	Presión del viento (kgf/m²)
0	60.51
7.5	60.51
15	72.41
22.5	81.3
30	88.27
37.5	94.08
45	99.11
52.5	103.57
60	107.6
67.5	111.28
75	114.69

**Acciones el viento:**

▶ **Parámetros Geométricos:**

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación normal a la dirección del viento:

$$B := 16,6 \text{ m}$$

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación perpendicular a la dirección del viento:

$$L := 43,1 \text{ m}$$

- ▶ Altura media del techo:

$$h := 7,5 \text{ m}$$

- ▶ Dimensión horizontal de la ventana:

$$b_v := 2,65 \text{ m}$$

- ▶ Dimensión vertical de la ventana:

$$h_v := 2,5 \text{ m}$$

▶ **Presión Interna**

(LDVCR sección 4-5)



▶ **Cerramiento:**

Cerrado ▼

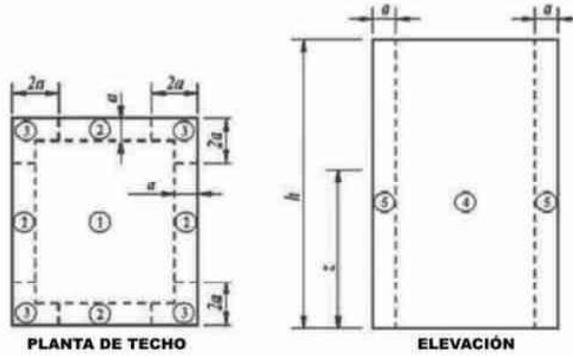
▶ **Coefficientes de presión interna:**

$$GC_{pi} = 0,18$$

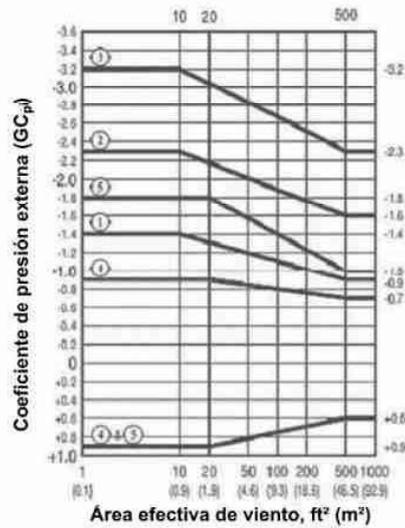
(LDVCR tabla 4-1)

► Presión externa:

Debido a una limitación del LDVCR ante los componentes y fachadas de edificios para alturas mayores a los 18 m, se decidió consultar una fuente externa para la definición de los coeficientes de presión. Se tomará como referencia el ASCE7-16.



(ASCE7-16 Figura 30.5-1)



(ASCE7-16 Figura 30.5-1)

Donde:

$a$  = 10% de la menor dimensión horizontal, no menor a 3 ft (0.9 m).

$h$  = Altura promedio del techo, excepto para techos con un ángulo menor a 10 grados.

$z$  = Altura con respecto al terreno, en ft. (m)

$\theta$  = Angulo del plano del techo con respecto a la horizontal, en grados.

## ▶ Área efectiva de la ventana:

$$A := D_v \cdot h_v = 6,6 \text{ m}^2$$

## ▶ a:

$$a := \text{Max}(\text{Min}(0, 1 \cdot L; 0, 1 \cdot B); 0,9 \text{ m}) = 1,66 \text{ m}$$

## ▶ Cálculo de la presión en las paredes:

$$p := q_z \cdot GC_p - q_h \cdot GC_{pi}$$

(LDVCR ecuación 4-1 y 4-2)

A partir del ASCE se definen los siguientes coeficientes para las zonas respectivas para las paredes, debido a que es la ubicación de las ventanas (Zonas 4 y 5):

## ▶ Zona 4:

## ▶ Presión Positiva:

$$GC_{p4p} := 0,8$$

(ASCE7-16 Figura 30.5-1)

## ▶ Presión Negativa:

$$GC_{p4n} := -0,8$$

(ASCE7-16 Figura 30.5-1)

## ▶ Zona 5:

## ▶ Presión Positiva:

$$GC_{p5p} := 0,8$$

(ASCE7-16 Figura 30.5-1)

## ▶ Presión Negativa:

$$GC_{p5n} := -1,5$$

(ASCE7-16 Figura 30.5-1)

## ▶ Coeficientes de presión interna:

$$GC_{pi} = 0,18$$

(LDVCR tabla 4-1)



## Presión debido al viento en la zona 4

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (+GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (-GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0,00	60,51	69,05	-112,39
15,00	72,41	78,57	
30,00	88,27	91,26	
45,00	99,11	99,93	
60,00	107,60	106,72	
75,00	114,69	112,39	

## Presión de servicio debido al viento en la zona 4

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (+GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (-GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0,00	60,51	35,79	-58,26
15,00	72,41	40,73	
30,00	88,27	47,30	
45,00	99,11	51,80	
60,00	107,60	55,32	
75,00	114,69	58,26	

## Presión debido al viento en la zona 5

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (+GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (-GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0,00	60,51	69,05	-192,67
15,00	72,41	78,57	
30,00	88,27	91,26	
45,00	99,11	99,93	
60,00	107,60	106,72	
75,00	114,69	112,39	

## Presión de servicio debido al viento en la zona 5

z (m)	q(z) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (+GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )	Presión Neta (-GC <sub>pl</sub> ) (kgf/m <sup>2</sup> )
0	60,51	35,79	-99,87
15	72,41	40,73	
30	88,27	47,3	
45	99,11	51,8	
60	107,6	55,32	
75	114,69	58,26	

**8.5 Apéndice E: Memorias de cálculo para el rótulo**

Funciones

**Definiciones Generales Para El Rótulo:**

Presiones

Categoría

► Clasificación de edificaciones según importancia :

C

► Ubicación de la estructura:

Construcciones en ciudad o lugar de rugosidad comparable

Ubicación

**Muro Aislado**

$h := 20 \text{ m}$      $s := 5 \text{ m}$      $B := 10 \text{ m}$      $FF_{rotulo} := 1,6$

► Función para relacionar q equivalente con la altura correspondiente

$$q := Q(h; M_Q) = 85 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Tabla . Presión debido al Reglamento de Construcciones

Elemento	FF	FI	Presión (kgf/m <sup>2</sup> )
Muro Aislado	1.6	0.7	95.2

## Funciones

## Definiciones Generales:

- Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente::

E

(CSCR tabla 4.1)

(LDVCR tabla 2.1)

- Categoría de diseño por viento:

"IV Miscelánea"

(LDVCR sección 2.2)

- Nivel de demanda:

Alta

(LDVCR sección 2.3)

- Nivel de demanda de servicio:

Baja (10)

(LDVCR sección 2.3)

- Objetivo de desempeño:

NDU-2

(LDVCR sección 2.5)

- Período de retorno (Tr):

► 700 yr

(LDVCR tabla 2-2)

- Recurrencia:

► "Rara"

(LDVCR tabla 2-2)

- Probabilidad de excedencia en 50 años (PE):

► 6,9 %

(LDVCR tabla 2-2)

## Demanda por viento:

- Zona:

Zona V

(LDVCR tabla 3-1)

- Velocidad básica del viento para período de retorno de 50 años:

$$\Rightarrow V_b = 140 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

(LDVCR figura 3-1)

- Presión básica del viento:

$$q_b := 0,005 \cdot \left( \frac{\text{hr}}{\text{km}} \right)^2 \cdot V_b^2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

(LDVCR ecuación 3-1)

$$\rho \cdot q_D = 98 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

► Presión del viento (q): (LDVCR sección 3.3)

► Coeficiente de exposición: (LDVCR sección 3.3.1)

► Altura de la edificación medida desde el terreno hasta la altura superior del rótulo

$$h := 20 \text{ m}$$

► Categoría de exposición:

(LDVCR sección 3.3.1.2)

$$\rho \alpha_e = 7$$

(LDVCR tabla 3-2)

$$\rho z_{ge} = 366 \text{ m}$$

(LDVCR tabla 3-2)

$$\rho z_{min,e} = 8 \text{ m}$$

(LDVCR tabla 3-2)

► Longitud de exposición:

$$\rho L_{exp} = 800 \text{ m}$$

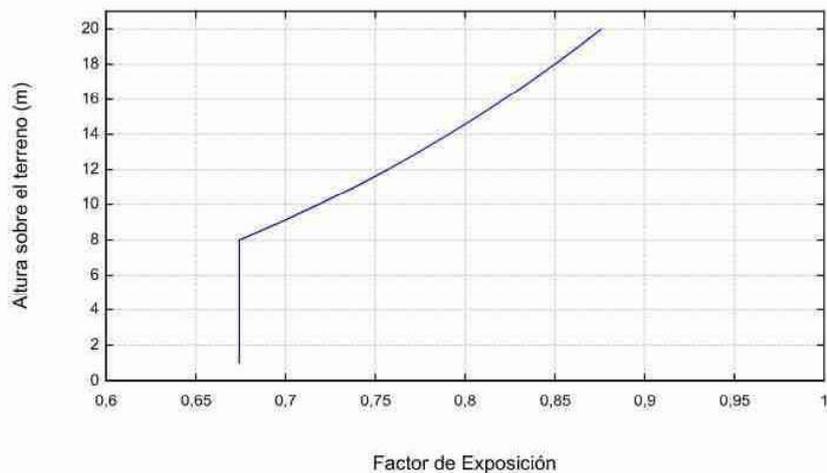
(LDVCR tabla 3-2)

$$\rho C_e(z) := \text{Max} \left( 2, 01 \cdot \left( \frac{z}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} ; 2, 01 \cdot \left( \frac{z_{min,e}}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} \right)$$

(LDVCR ecuación 3-3)

$$\rho C_e(h) = 0,876 \quad C_e(z_{min,e}) = 0,6742$$

Coeficiente de exposición según la altura



- ▷ Coeficiente de recurrencia: (LDVCR sección 3.3.2)
- 
- ▷ Período de retorno:
- ▷  $T_E = 700 \text{ yr}$
- ▷ Coeficiente de recurrencia para resistencia: (LDVCR tabla 3-3)
- ▷  $C_E = 1,6$
- ▷ Período de retorno de servicio:
- ▷  $T_{rs} = 10 \text{ yr}$
- ▷ Coeficiente de recurrencia para servicio: (LDVCR tabla 3-3)
- ▷  $C_{rs} = 0,7$
- ▷ Coeficiente topográfico: (LDVCR sección 3.3.3)

En la sección 3.3.3. del LDVCR, se establece que los efectos del cambio de la velocidad del viento debidos a la topografía deberán ser incluidos cuando la estructura y la topografía cumplan con todas las siguientes condiciones:

- El cerro, sierra o escarpe está aislado y libre de obstrucciones hacia barlovento por otras características topográficas similares por una distancia de 100 veces la altura del cerro, sierra o escarpe, o por 3.2 km.
- El cerro, sierra o escarpe sobresale por encima de la altura de cualquier accidente geográfico hacia barlovento dentro de un radio de 3.2 km por un factor de 2 o más.
- La edificación está ubicada en la mitad superior de la sierra o cerro o cerca de la cresta de un escarpe
- $H/L_h \geq 0.2$
- H es mayor o igual a 4.5 m para exposiciones C y D, y 18 m para exposiciones A y B.

- 
- ▷  $C_c(z) := (1 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3(z))^2$  (LDVCR ecuación 3-4)
- ▷  $C_c(0 \text{ m}) = 1$
- ▷  $C_c(h) = 1$

► Coeficiente de direccionalidad:

(LDVCR sección 3.3.4)



► Tipo de Edificación:

Muros y Señales Macizas ▼

►  $C_{d1} = 0,85$

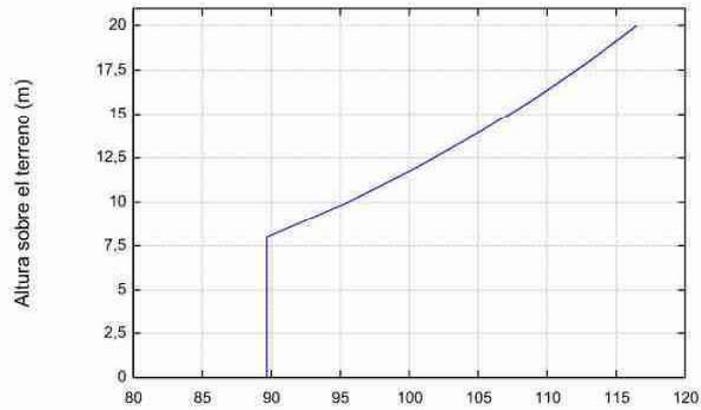
(LDVCR tabla 3-5)



$$q := q_b \cdot C_s \cdot C_d$$

(LDVCR ecuación 3-2)

Presión del viento según la altura



Presión del viento (kgf/m²)

Tabla 1: Presión del viento según la altura

Altura sobre el terreno (m)	Presión del viento (kgf/m²)
0	89.67
2	89.67
4	89.67
6	89.67
8	89.67
10	95.58
12	100.69
14	105.22
16	109.31
18	113.05
20	116.51

**Acciones el viento:**

- ▶ Calculo del efecto de ráfaga (G):



- La edificación en estudio se considera una estructura rígida.
- La edificación en estudio se considera como un edificio bajo.

- ▶ Periodo de la estructura:

$$T_{estructura} := 0,46 \text{ s}$$

- ▶ Razon de amortiguamiento:

$$\beta := 1,5 \%$$

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación normal a la dirección del viento:

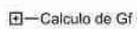
$$B := 10 \text{ m}$$

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación perpendicular a la dirección del viento:

$$L := 1 \text{ m}$$

- ▶ Altura media del techo:

$$h := 20 \text{ m}$$



- ▶ Efecto de ráfaga:

$$G := 0,8666$$

(LDVCR Anexo B)

- ▶ Área bruta del rótulo:

$$s := 5 \text{ m}$$

$$A_s := s \cdot B = 50 \text{ m}^2$$

- ▶ Coeficiente de presión:

- ▶ Relación s/h:

$$0,25$$

- ▶ Relación B/s:

$$2$$

A partir de las relaciones anteriores y la Figura A-6 del LDVCR, se determinan los siguientes coeficientes de presión:



► Caso A:

$$C_{fA} = 1,8$$

► Caso B:

$$C_{fB} = 1,8$$

► Caso C:

$$C_{fC1} = 2,25$$

$$C_{fC2} = 1,5$$

► Presión de velocidad evaluada en h:

$$q(h) = 116,51 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

► Fuerza de diseño para el rótulo:

► Caso A:

$$F_A := q(h) \cdot G \cdot C_{fB} \cdot A_s = 9,09 \text{ tonnef}$$

► Caso B:

$$F_B := q(h) \cdot G \cdot C_{fA} \cdot A_s = 9,09 \text{ tonnef}$$

► Caso C:

$$F_{C1} := q(h) \cdot G \cdot C_{fC1} \cdot A_s = 11,36 \text{ tonnef}$$

$$F_{C2} := q(h) \cdot G \cdot C_{fC2} \cdot A_s = 7,57 \text{ tonnef}$$

► Fuerza de servicio para el rótulo:

► Caso A:

$$F_A := q(h) \cdot G \cdot C_{fB} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 4,71 \text{ tonnef}$$

► Caso B:

$$F_B := q(h) \cdot G \cdot C_{fA} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 4,71 \text{ tonnef}$$

► Caso C:

$$F_{C1} := q(h) \cdot G \cdot C_{fC1} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 5,89 \text{ tonnef}$$

$$F_{C2} := q(h) \cdot G \cdot C_{fC2} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 3,93 \text{ tonnef}$$

Presión en la armadura:

$$h = 20 \text{ m}$$

La menor dimensión proyectada sobre un plano vertical de una poligonal :

$$D_{\text{cuerdas}} := 30 \text{ cm}$$

$$D_{\text{diagonales}} := 15 \text{ cm}$$

Relación h/D:

$$\frac{h}{D_{\text{cuerdas}}} = 66,67$$

$$\frac{h}{D_{\text{diagonales}}} = 133,33$$

Debido a que la tabla presenta una relación h/D máxima de 25, se deberá tomar ese mismo valor, ya que los valores presentados en esta tabla no se pueden extrapolar.

Coefficiente de presión:

$$C_f := 2$$

► Fuerza de diseño para la armadura:

$$F_{cuerdas} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{cuerdas} = 60,58 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$F_{diagonales} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{diagonales} = 30,29 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

► Fuerza de servicio para la armadura:

$$F_{cuerdas} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{cuerdas} \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 31,4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$F_{diagonales} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{diagonales} \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 15,7 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Calculo de la demanda distribuida en las columnas del rótulo:

$$L_{\text{tubo}} := 3,8 \text{ m}$$



► Caso A:

$$F_A = 9,09 \text{ tonnef}$$

$$w_{\text{cva}} := \frac{F_A}{2} \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 1195,65 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



► Caso B:

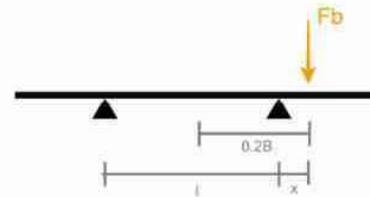
$$F_B = 9,09 \text{ tonnef}$$

$$l := 3,125 \text{ m}$$

$$x := 0,2 \cdot l = 0,4375 \text{ m}$$

$$w_{\text{cvB1}} := \frac{F_B \cdot (x + l)}{l} \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 2726,07 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$w_{\text{cvB2}} := \frac{F_B \cdot x}{l} \cdot \frac{-1}{L_{\text{tubo}}} = -334,78 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



► Caso C:

$$F_{C1} = 11,36 \text{ tonnef}$$

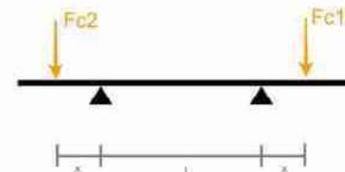
$$F_{C2} = 7,57 \text{ tonnef}$$

$$l := 3,125 \text{ m}$$

$$x := 2,5 \text{ m} - \frac{l}{2} = 0,9375 \text{ m}$$

$$w_{\text{cvC1}} := \left( \frac{F_{C1} \cdot (x + l)}{l} - \frac{F_{C2} \cdot x}{l} \right) \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 3288,02 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$w_{\text{cvC2}} := \left( -\frac{F_{C1} \cdot x}{l} + \frac{F_{C2} \cdot (x + l)}{l} \right) \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 1693,83 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



## Funciones

## Definiciones Generales:

- ▶ Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente::

(CSCR tabla 4.1)

(LDVCR tabla 2.1)

- ▶ Categoría de diseño por viento:

"IV Miscelánea"

(LDVCR sección 2.2)

- ▶ Nivel de demanda:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Nivel de demanda de servicio:

(LDVCR sección 2.3)

- ▶ Objetivo de desempeño:

(LDVCR sección 2.5)

- ▶ Periodo de retorno (Tr):

▶ 700 yr

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Recurrencia:

▶ "Rara"

(LDVCR tabla 2-2)

- ▶ Probabilidad de excedencia en 50 años (PE):

▶ 6,9%

(LDVCR tabla 2-2)

## Demanda por viento:

- ▶ Zona:

(LDVCR tabla 3-1)

- ▶ Velocidad básica del viento para periodo de retorno de 50 años:

$$V_b = 115 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

(LDVCR figura 3-1)

- ▶ Presión básica del viento:

$$q_b = 0,005 \cdot \left( \frac{\text{hr}}{\text{km}} \right)^2 \cdot V_b^2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$q_b = 66,125 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

(LDVCR ecuación 3-1)

► Presión del viento (q): (LDVCR sección 3.3)

▷ Coeficiente de exposición: (LDVCR sección 3.3.1)

► Altura de la edificación medida desde el terreno hasta la altura superior del rótulo

$$h := 20 \text{ m}$$

► Categoría de exposición:

(LDVCR sección 3.3.1.2)

▷  $\alpha_e = 7$  (LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{ge} = 366 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{min,e} = 8 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

► Longitud de exposición:

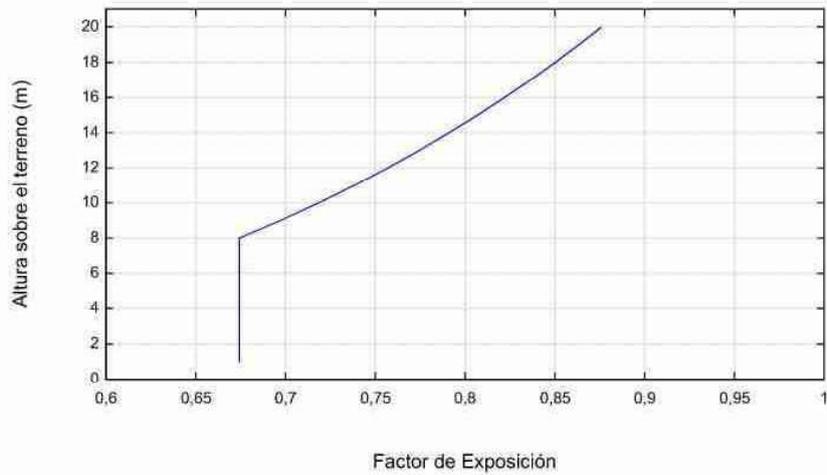
▷  $L_{exp} = 800 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

$$C_e(z) := \text{Max} \left( 2,01 \cdot \left( \frac{z}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} ; 2,01 \cdot \left( \frac{z_{min,e}}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} \right)$$

(LDVCR ecuación 3-3)

$$C_e(h) = 0,876 \quad C_e(z_{min,e}) = 0,6742$$

Coeficiente de exposición según la altura



▷ Coeficiente de recurrencia: (LDVCR sección 3.3.2)

► Período de retorno:

$$T_r = 700 \text{ yr}$$

► Coeficiente de recurrencia para resistencia:

$$C_r = 1,6$$

(LDVCR tabla 3-3)

► Período de retorno de servicio:

$$T_{rs} = 10 \text{ yr}$$

► Coeficiente de recurrencia para servicio:

$$C_{rs} = 0,7$$

(LDVCR tabla 3-3)

► Coeficiente topográfico:

(LDVCR sección 3.3.3)

□ En la sección 3.3.3. del LDVCR, se establece que los efectos del cambio de la velocidad del viento debidos a la topografía deberán ser incluidos cuando la estructura y la topografía cumplan con todas las siguientes condiciones:

- El cerro, sierra o escarpe está aislado y libre de obstrucciones hacia barlovento por otras características topográficas similares por una distancia de 100 veces la altura del cerro, sierra o escarpe, o por 3.2 km.
- El cerro, sierra o escarpe sobresale por encima de la altura de cualquier accidente geográfico hacia barlovento dentro de un radio de 3.2 km por un factor de 2 o más.
- La edificación está ubicada en la mitad superior de la sierra o cerro o cerca de la cresta de un escarpe.
- $H/Lh \geq 0.2$
- H es mayor o igual a 4.5 m para exposiciones C y D, y 18 m para exposiciones A y B.

□

$$C_e(z) := [1 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3(z)]^2$$

(LDVCR ecuación 3-4)

$$C_e(0 \text{ m}) = 1$$

$$C_e(h) = 1$$

► Coeficiente de direccionalidad:

(LDVCR sección 3.3.4)



► Tipo de Edificación:

Muros y Señales Macizas



►  $C_d = 0,85$

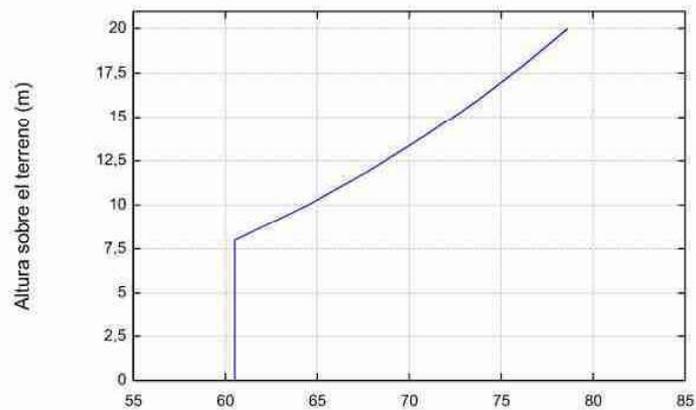
(LDVCR tabla 3-5)



$$q := q_b \cdot C_s \cdot C_d$$

(LDVCR ecuación 3-2)

Presión del viento según la altura



Presión del viento (kgf/m²)

Tabla 1: Presión del viento según la altura

Altura sobre el terreno (m)	Presión del viento (kgf/m²)
0	60.51
2	60.51
4	60.51
6	60.51
8	60.51
10	64.49
12	67.94
14	71
16	73.76
18	76.28
20	78.61

**Acciones el viento:**

- ▶ Cálculo del efecto de ráfaga (G):



- La edificación en estudio se considera una estructura rígida.
- La edificación en estudio se considera como un edificio bajo.

- ▶ Período de la estructura:

$$T_{\text{estructura}} := 0,46 \text{ s}$$

- ▶ Razón de amortiguamiento:

$$\beta := 1,5 \%$$

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación normal a la dirección del viento:

$$B := 10 \text{ m}$$

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación perpendicular a la dirección del viento:

$$L := 1 \text{ m}$$

- ▶ Altura media del techo:

$$h := 20 \text{ m}$$



—Cálculo de Gf—

- ▶ Efecto de ráfaga:

$$G = 0,8622$$

(LDVCR Anexo B)

- ▶ Área bruta del rótulo:

$$s := 5 \text{ m}$$

$$A_s := s \cdot B = 50 \text{ m}^2$$

- ▶ Coeficiente de presión:

- ▶ Relación s/h:

$$0,25$$

- ▶ Relación B/s:

$$2$$

A partir de las relaciones anteriores y la Figura A-6 del LDVCR, se determinan los siguientes coeficientes de presión:



► Caso A:

$$C_{fA} = 1,8$$

► Caso B:

$$C_{fB} = 1,8$$

► Caso C:

$$C_{fC1} = 2,25$$

$$C_{fC2} = 1,5$$

► Presión de velocidad evaluada en h:

$$q(h) = 78,61 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

► Fuerza de diseño para el rótulo:

► Caso A:

$$F_A := q(h) \cdot G \cdot C_{fB} \cdot A_s = 6,1 \text{ tonnef}$$

► Caso B:

$$F_B := q(h) \cdot G \cdot C_{fA} \cdot A_s = 6,1 \text{ tonnef}$$

► Caso C:

$$F_{C1} := q(h) \cdot G \cdot C_{fC1} \cdot A_s = 7,63 \text{ tonnef}$$

$$F_{C2} := q(h) \cdot G \cdot C_{fC2} \cdot A_s = 5,08 \text{ tonnef}$$

► Fuerza de servicio para el rótulo:

► Caso A:

$$F_A := q(h) \cdot G \cdot C_{fB} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 3,16 \text{ tonnef}$$

► Caso B:

$$F_B := q(h) \cdot G \cdot C_{fA} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 3,16 \text{ tonnef}$$

► Caso C:

$$F_{C1} := q(h) \cdot G \cdot C_{fC1} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 3,95 \text{ tonnef}$$

$$F_{C2} := q(h) \cdot G \cdot C_{fC2} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 2,64 \text{ tonnef}$$

Presión en la armadura:

$$h = 20 \text{ m}$$

La menor dimensión proyectada sobre un plano vertical de una poligonal :

$$D_{\text{cuerdas}} := 30 \text{ cm}$$

$$D_{\text{diagonales}} := 15 \text{ cm}$$

Relación h/D:

$$\frac{h}{D_{\text{cuerdas}}} = 66,67$$

$$\frac{h}{D_{\text{diagonales}}} = 133,33$$

Debido a que la tabla presenta una relación h/D máxima de 25, se deberá tomar ese mismo valor, ya que los valores presentados en esta tabla no se pueden extrapolar.

Coficiente de presión:

$$C_f := 2$$

► Fuerza de diseño para la armadura:

$$F_{cuerdas} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{cuerdas} = 40,67 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$F_{diagonales} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{diagonales} = 20,34 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

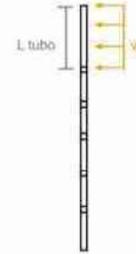
► Fuerza de servicio para la armadura:

$$F_{cuerdas} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{cuerdas} \cdot \frac{C_{rs}}{C_y \cdot C_d} = 21,08 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$F_{diagonales} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{diagonales} \cdot \frac{C_{rs}}{C_y \cdot C_d} = 10,54 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Calculo de la demanda distribuida en las columnas del rótulo:

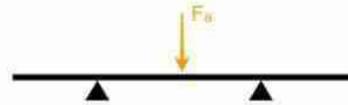
$$L_{\text{tubo}} := 3,8 \text{ m}$$



► Caso A:

$$F_A = 6,1 \text{ tonnef}$$

$$w_{\text{CVA}} := \frac{F_A}{2} \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 802,7 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



► Caso B:

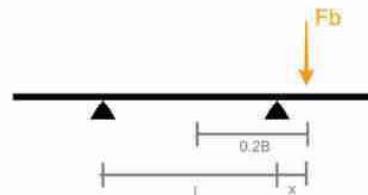
$$F_B = 6,1 \text{ tonnef}$$

$$l := 3,125 \text{ m}$$

$$x := 0,2 \cdot B - \frac{l}{2} = 0,4375 \text{ m}$$

$$w_{\text{CVB1}} := \frac{F_B \cdot (x + l)}{l} \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 1830,16 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$w_{\text{CVB2}} := \frac{F_B \cdot x}{l} \cdot \frac{-1}{L_{\text{tubo}}} = -224,76 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



► Caso C:

$$F_{C1} = 7,63 \text{ tonnef}$$

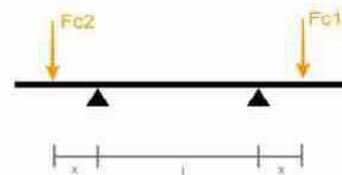
$$F_{C2} = 5,08 \text{ tonnef}$$

$$l := 3,125 \text{ m}$$

$$x := 2,5 \text{ m} - \frac{l}{2} = 0,9375 \text{ m}$$

$$w_{\text{CVB1}} := \left( \frac{F_{C1} \cdot (x + l)}{l} - \frac{F_{C2} \cdot x}{l} \right) \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 2207,43 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$w_{\text{CVB2}} := \left( -\frac{F_{C1} \cdot x}{l} + \frac{F_{C2} \cdot (x + l)}{l} \right) \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 1137,16 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



Funciones

**Definiciones Generales:**

□

- Clasificación de edificaciones según importancia acuerdo con CSCR vigente::

E ▼

(CSCR tabla 4.1)

(LDVCR tabla 2.1)

- Categoría de diseño por viento:

"IV Miscelánea"

(LDVCR sección 2.2)

- Nivel de demanda:

Alta ▼

(LDVCR sección 2.3)

- Nivel de demanda de servicio:

Baja (10) ▼

(LDVCR sección 2.3)

- Objetivo de desempeño:

NDU-2 ▼

(LDVCR sección 2.5)

□

- Periodo de retorno (Tr):

▷ 700 yr

(LDVCR tabla 2-2)

- Recurrencia:

▷ "Rara"

(LDVCR tabla 2-2)

- Probabilidad de excedencia en 50 años (PE):

▷ 6,9%

(LDVCR tabla 2-2)

**Demanda por viento:**

□

- Zona:

Zona I ▼

(LDVCR tabla 3-1)

- Velocidad básica del viento para periodo de retorno de 50 años:

$$\triangleright V_b = 100 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

(LDVCR figura 3-1)

- Presión básica del viento:

$$q_b := 0,005 \cdot \left( \frac{\text{hr}}{\text{km}} \right)^2 \cdot V_b^2 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\triangleright q_b = 50 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

(LDVCR ecuación 3-1)

► Presión del viento (q): (LDVCR sección 3.3)

▷ Coeficiente de exposición: (LDVCR sección 3.3.1)

► Altura de la edificación medida desde el terreno hasta la altura superior del rótulo

$$h := 20 \text{ m}$$

► Categoría de exposición:

(LDVCR sección 3.3.1.2)

▷  $\alpha_e = 7$  (LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{ge} = 366 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

▷  $z_{min,e} = 8 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

► Longitud de exposición:

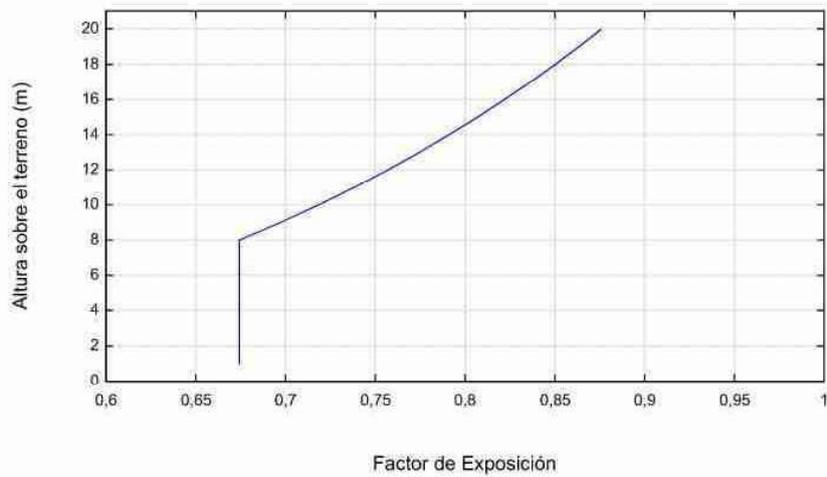
▷  $L_{exp} = 800 \text{ m}$  (LDVCR tabla 3-2)

$$C_e(z) := \text{Max} \left( 2,01 \cdot \left( \frac{z}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} ; 2,01 \cdot \left( \frac{z_{min,e}}{z_{ge}} \right)^{\frac{2}{\alpha_e}} \right)$$

(LDVCR ecuación 3-3)

$$C_e(h) = 0,876 \quad C_e(z_{min,e}) = 0,6742$$

Coeficiente de exposición según la altura



- ▣ ▶ Coeficiente de recurrencia: (LDVCR sección 3.3.2)
- 
- ▶ Período de retorno:
- ▣ ▶  $T_r = 700 \text{ yr}$
- ▶ Coeficiente de recurrencia para resistencia:
- ▣ ▶  $C_r = 3$  (LDVCR tabla 3-3)
- ▶ Período de retorno de servicio:
- ▣ ▶  $T_{rs} = 10 \text{ yr}$
- ▶ Coeficiente de recurrencia para servicio:
- ▣ ▶  $C_{rs} = 0,7$  (LDVCR tabla 3-3)
- ▶ Coeficiente topográfico: (LDVCR sección 3.3.3)

▣ En la sección 3.3.3. del LDVCR, se establece que los efectos del cambio de la velocidad del viento debidos a la topografía deberán ser incluidos cuando la estructura y la topografía cumplan con todas las siguientes condiciones:

- El cerro, sierra o escarpe está aislado y libre de obstrucciones hacia barlovento por otras características topográficas similares por una distancia de 100 veces la altura del cerro, sierra o escarpe, o por 3.2 km.
- El cerro, sierra o escarpe sobresale por encima de la altura de cualquier accidente geográfico hacia barlovento dentro de un radio de 3.2 km por un factor de 2 o más.
- La edificación está ubicada en la mitad superior de la sierra o cerro o cerca de la cresta de un escarpe.
- $H/L_h \geq 0.2$
- $H$  es mayor o igual a 4.5 m para exposiciones C y D, y 18 m para exposiciones A y B.

- ▣
- 
- ▣ ▶  $C_t(z) := \left(1 + C_1 \cdot C_2 \cdot C_3(z)\right)^2$  (LDVCR ecuación 3-4)
- ▣ ▶  $C_t(0 \text{ m}) = 1$
- ▣ ▶  $C_t(h) = 1$

► Coeficiente de direccionalidad:

(LDVCR sección 3.3.4)



► Tipo de Edificación:

Muros y Señales Macizas



►  $C_d = 0,85$

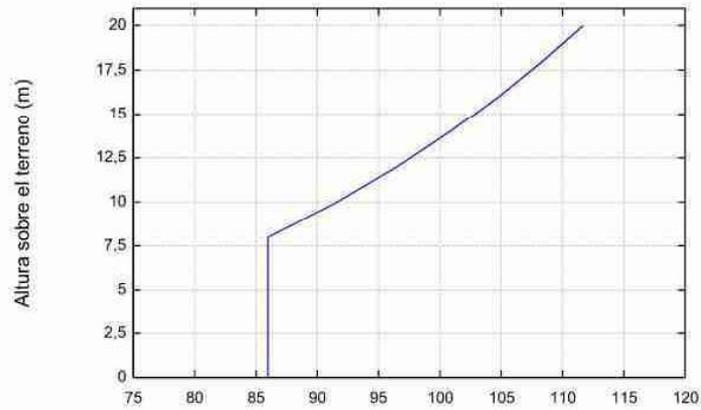
(LDVCR tabla 3-5)



$$q := q_b \cdot C_s \cdot C_d$$

(LDVCR ecuación 3-2)

Presión del viento según la altura



Presión del viento (kgf/m²)

Tabla 1: Presión del viento según la altura

Altura sobre el terreno (m)	Presión del viento (kgf/m²)
0	85.96
2	85.96
4	85.96
6	85.96
8	85.96
10	91.62
12	96.52
14	100.87
16	104.79
18	108.38
20	111.69

**Acciones el viento:**

- ▶ Calculo del efecto de ráfaga (G):



- La edificación en estudio se considera una estructura rígida.
- La edificación en estudio se considera como un edificio bajo.

- ▶ Periodo de la estructura:

$$T_{estructura} := 0,46 \text{ s}$$

- ▶ Razon de amortiguamiento:

$$\beta := 1,5 \%$$

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación normal a la dirección del viento:

$$B := 10 \text{ m}$$

- ▶ Dimensión horizontal de la edificación perpendicular a la dirección del viento:

$$L := 1 \text{ m}$$

- ▶ Altura media del techo:

$$h := 20 \text{ m}$$



- ▶ Efecto de ráfaga:

$$G := 0,8603$$

(LDVCR Anexo B)

- ▶ Área bruta del rótulo:

$$s := 5 \text{ m}$$

$$A_s := s \cdot B = 50 \text{ m}^2$$

- ▶ Coeficiente de presión:

- ▶ Relación s/h:

$$0,25$$

- ▶ Relación B/s:

$$2$$

A partir de las relaciones anteriores y la Figura A-6 del LDVCR, se determinan los siguientes coeficientes de presión:



► Caso A:

$$C_{FA} = 1,8$$

► Caso B:

$$C_{FB} = 1,8$$

► Caso C:

$$C_{FC1} = 2,25$$

$$C_{FC2} = 1,5$$

► Presión de velocidad evaluada en h:

$$q(h) = 111,69 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

► Fuerza de diseño para el rótulo:

► Caso A:

$$F_A := q(h) \cdot G \cdot C_{FB} \cdot A_s = 8,65 \text{ tonnef}$$

► Caso B:

$$F_B := q(h) \cdot G \cdot C_{FA} \cdot A_s = 8,65 \text{ tonnef}$$

► Caso C:

$$F_{C1} := q(h) \cdot G \cdot C_{FC1} \cdot A_s = 10,81 \text{ tonnef}$$

$$F_{C2} := q(h) \cdot G \cdot C_{FC2} \cdot A_s = 7,21 \text{ tonnef}$$

► Fuerza de servicio para el rótulo:

► Caso A:

$$F_A := q(h) \cdot G \cdot C_{FB} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 2,39 \text{ tonnef}$$

► Caso B:

$$F_B := q(h) \cdot G \cdot C_{FA} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 2,39 \text{ tonnef}$$

► Caso C:

$$F_{C1} := q(h) \cdot G \cdot C_{FC1} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 2,98 \text{ tonnef}$$

$$F_{C2} := q(h) \cdot G \cdot C_{FC2} \cdot A_s \cdot \frac{C_{rs}}{C_r \cdot C_d} = 1,99 \text{ tonnef}$$

Presión en la armadura:

$$h = 20 \text{ m}$$

La menor dimensión proyectada sobre un plano vertical de una poligonal :

$$D_{\text{cuerdas}} := 30 \text{ cm}$$

$$D_{\text{diagonales}} := 15 \text{ cm}$$

Relación h/D:

$$\frac{h}{D_{\text{cuerdas}}} = 66,67$$

$$\frac{h}{D_{\text{diagonales}}} = 133,33$$

Debido a que la tabla presenta una relación h/D máxima de 25, se deberá tomar ese mismo valor, ya que los valores presentados en esta tabla no se pueden extrapolar.

Coefficiente de presión:

$$C_f := 2$$

► Fuerza de diseño para la armadura:

$$F_{cuerdas} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{cuerdas} = 57,65 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$F_{diagonales} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{diagonales} = 28,82 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

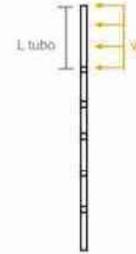
► Fuerza de servicio para la armadura:

$$F_{cuerdas} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{cuerdas} \cdot \frac{C_{rs}}{C_y \cdot C_d} = 15,9 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$F_{diagonales} := q(h) \cdot G \cdot C_f \cdot D_{diagonales} \cdot \frac{C_{rs}}{C_y \cdot C_d} = 7,95 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Calculo de la demanda distribuida en las columnas del rótulo:

$$L_{\text{tubo}} := 3,8 \text{ m}$$



► Caso A:

$$F_A = 8,65 \text{ tonnef}$$

$$w_{\text{CVA}} := \frac{F_A}{2} \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 1137,8 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



► Caso B:

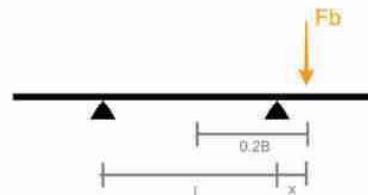
$$F_B = 8,65 \text{ tonnef}$$

$$l := 3,125 \text{ m}$$

$$x := 0,2 \cdot B - \frac{l}{2} = 0,4375 \text{ m}$$

$$w_{\text{CVB1}} := \frac{F_B \cdot (x+l)}{l} \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 2594,18 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$w_{\text{CVB2}} := \frac{F_B \cdot x}{l} \cdot \frac{-1}{L_{\text{tubo}}} = -318,58 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



► Caso C:

$$F_{C1} = 10,81 \text{ tonnef}$$

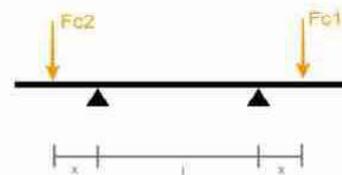
$$F_{C2} = 7,21 \text{ tonnef}$$

$$l := 3,125 \text{ m}$$

$$x := 2,5 \text{ m} - \frac{l}{2} = 0,9375 \text{ m}$$

$$w_{\text{CVB1}} := \left( \frac{F_{C1} \cdot (x+l)}{l} - \frac{F_{C2} \cdot x}{l} \right) \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 3128,94 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$w_{\text{CVB2}} := \left( -\frac{F_{C1} \cdot x}{l} + \frac{F_{C2} \cdot (x+l)}{l} \right) \cdot \frac{1}{L_{\text{tubo}}} = 1611,88 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



## 9 Anexos

### 9.1 Anexo A: Coeficientes de forma para la nave industrial

Para la nave industrial se utilizan los siguientes coeficientes.

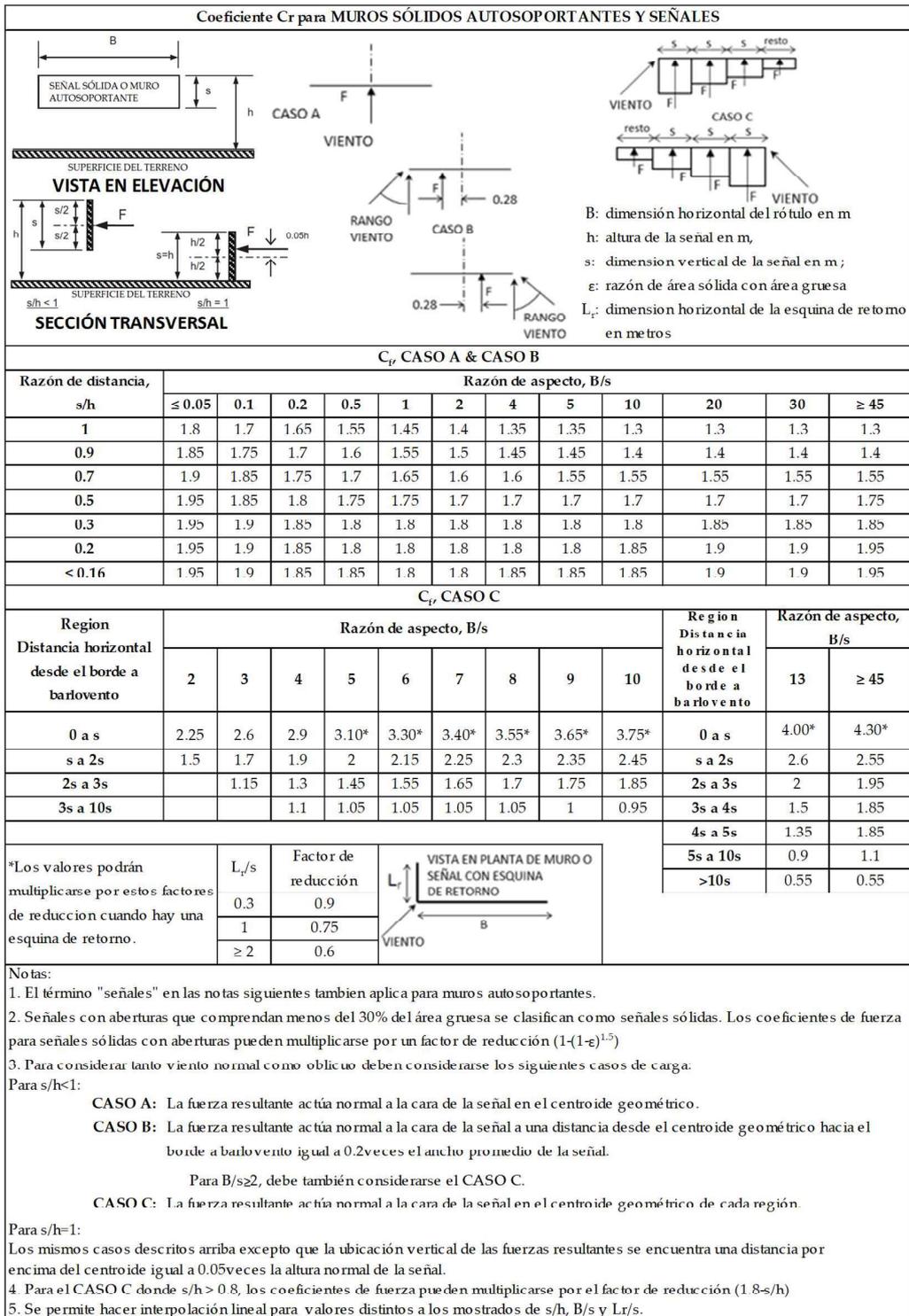
Dirección del viento	h/L	Distancia horizontal desde el borde a barlovento	C <sub>p</sub>
Normal a la cumbrera para $\theta < 10^\circ$ y paralelo a la cumbrera para todos los valores de $\theta$	$\leq 0.5$	0 a h/2	-0.9,-0.18
		h/2 a h	-0.9,-0.18
		h a 2h	-0.5,-0.18
		> 2h	-0.3,-0.18
	$\geq 1.0$	0 a h/2	-1.3,-0.18
		> h/2	-0.7,-0.18

Fuente: LDVCR, 2021.

Notas:

1. El signo positivo significa presión hacia la superficie, el signo negativo, alejándose de la superficie.
2. Se permite interpolación lineal para otros valores de L/B, h/L y  $\theta$  diferentes a los mostrados en la tabla. Esta interpolación puede hacerse si los valores tienen el mismo signo, si no los tuvieran debe suponerse igual a 0.
3. Cuando se presentan dos valores de C<sub>p</sub> significa que la pendiente del techo a barlovento está sometida tanto a presiones positivas como negativas y que debe diseñarse para las dos condiciones.
4. Para techos de una sola pendiente, la totalidad de la superficie de techo está a barlovento o a sotavento.
5. Para edificaciones flexibles usar el valor apropiado de G<sub>f</sub> que corresponda
6. Los valores de (GC<sub>pi</sub>) deben usarse con q<sub>z</sub> o q<sub>h</sub>, según sea especificado
7. Se deben considerar dos casos para determinar la presión neta para diseño:
  - a. Valor positivo de (GC<sub>pi</sub>) aplicado en todas las superficies internas.
  - b. Valor negativo de (GC<sub>pi</sub>) aplicado en todas las superficies internas.
8. Variables:
  - a. B: dimensión horizontal normal a la dirección del viento.
  - b. L: dimensión horizontal perpendicular a la dirección del viento.
  - c. h: es la altura media del techo (para  $\theta \leq 10^\circ$  se toma la altura máxima).
  - d. z: altura sobre el terreno.
  - e. G: efecto de ráfaga.
  - f. q<sub>z</sub>, q<sub>h</sub>: presión de velocidad.
  - g.  $\theta$ : ángulo del techo medido desde la horizontal.
9. Para techos con más de 80° de pendiente usar C<sub>p</sub> = 0.8

## 9.2 Anexo B: Coeficientes de forma y casos de carga para el rótulo



**Figura 53.** Coeficientes de presión para el rótulo

Fuente: LDVCR, 2021