# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ACATLÁN**

# RESPUESTA EÓLICA EN ANUNCIOS ESPECTACULARES DE TIPO UNIPOLAR

# T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A:

**VICTOR GÓMEZ GARCÍA**

**ASESOR: DOCTOR EN INGENIERÍA HUGO HERNÁNDEZ BARRIOS**

SANTA CRUZ ACATLÁN, NAUCALPAN, ESTADO DE MÉXICO, 2025

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**
**Tesis Digitales**
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Dedicatoria

**A Guadalupe Gómez Valadez y a la memoria de**
**María Teresa García Saldívar y Rodrigo Gómez García.**

## Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre María Teresa García y a mi padre Guadalupe Gómez, por su cariño y enseñanzas.

A mis hermanos, Rigoberto, José Guadalupe, Rodrigo y Lorena, por siempre estar para mí sin importar las dificultades.

Al Doctor Hugo Hernández Barrios y al Ingeniero Carlos Arce León, de quienes tuve la fortuna de ser su alumno, por todas sus enseñanzas.

Por último, quiero hacer una mención especial a Guadalupe Gómez Valadez, María Teresa García Saldívar y a Rodrigo Gómez García, a quienes está dedicado este trabajo, por enseñarme a nunca darme por vencido.

# Introducción

En este trabajo se presentan diferentes métodos de análisis por viento para anuncios espectaculares de tipo unipolar, mostrando la problemática que existe a lo largo de la República Mexicana en este tipo de estructuras debido a las acciones del viento, desde colapsos los cuales generan lesiones en las personas, pérdidas económicas en incluso la muerte. Es por eso que se le debe prestar atención a este tipo de estructuras, las cuales se encuentran en grandes cantidades a lo largo de todo el país.

Si bien, este trabajo se enfoca en algunos tipos distintos de anuncios espectaculares de tipo unipolar, dentro de ellos se encuentran un sinnúmero de distinciones debido a las muchas variantes que se pueden tener en la altura o las dimensiones de la cartelera, así como la posición de los tubos, perfiles, etc. También existen otros tipos de anuncios enfocados a la publicidad como pueden ser los anuncios ubicados en las azoteas y anuncios soportados por columnas de celosía.

Como se mencionó anteriormente se desarrollaron diferentes tipos de estructuras de anuncios espectaculares con distintos métodos de análisis, además de generar una base de datos con los colapsos que ha habido en la República Mexicana a partir del año 2000 y hasta junio de 2022, esto con el objetivo que mostrar la problemática y exponer el comportamiento de este tipo de estructuras a las acciones del viento, lo que nos llevará a un mejor entendimiento de estas estructuras y los problemas que se generan en las mismas.

# *Contenido*

Dedicatoria ..... 3
Agradecimientos ..... 5
Introducción ..... 7
CAPÍTULO 1. LETREROS ESPECTACULARES EN MÉXICO ..... 13
1.1 INTRODUCCIÓN ..... 13
1.2 LETREROS ESPECTACULARES RETIRADOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO ..... 13
1.3 FALLAS DE LETREROS ESPECTACULARES EN MÉXICO ..... 16
1.4 RESUMEN DE MONOPOLOS COLAPSADOS, 2000-2022 ..... 36
1.5 REGISTRO DE CICLONES TROPICALES ..... 37
1.6 CONCLUSIONES ..... 39
1.7 REFERENCIAS ..... 39
CAPÍTULO 2. ESTRUCTURACIÓN Y PROPIEDADES DINÁMICAS DE LOS LETEROS ESPECTACULARES ..... 61
2.1 INTRODUCCIÓN ..... 61
2.1 LETREROS ESPECTACULARES ESTUDIADOS ..... 61
2.3 ESTRUCTURACIÓN DE LOS LETREROS ESPECTACULARES ESTUDIADOS ..... 62
2.4 MODELO MATEMÁTICO ..... 64
2.5 MODELOS NUMÉRICOS DESARROLLADOS ..... 64
2.6 PROPIEDADES DE LOS MODELOS 1 Y 2 ..... 68
2.7 PROPIEDADES DE LOS MODELOS 3 Y 4 ..... 72
2.8 PROPIEDADES DE LOS MODELOS 5 Y 1 ..... 76
2.9 PROPIEDADES DEL MODELO 6 ..... 79
2.10 PROPIEDADES DEL MODELO 7 ..... 81
2.11 CONCLUSIONES ..... 83
2.12 REFERENCIAS ..... 84
CAPÍTULO 3. RESPUESTA DE ANUNCIOS ESPECTACULARES MEDIANTE EL USO DE SIMULACIONES ..... 85
3.1 INTRODUCCIÓN ..... 85
3.2 ECUACIÓN DE MOVIMIENTO ..... 85
3.3 FUERZA DEL VIENTO EN DIRECCIÓN LONGITUDINAL ..... 86
3.4 ECUACIÓN DE MOVIMIENTO DE UNA ESTRUCTURA ..... 87
3.5 SIMULACIÓN NÚMERICA DEL VIENTO ..... 88
3.6 MÉTODO DE MODELACIÓN DE SEÑALES NUMÉRICAS ..... 89
3.7 RESPUESTA ANTE LA ACCIÓN DEL VIENTO ..... 91

3.8 MOMENTOS DE VOLTEO PARA LOS LETREROS DE ESTUDIO ..... 116
3.9 CONCLUSIONES ..... 117
3.10 REFERENCIAS ..... 118
CAPÍTULO 4. RESPUESTA DE UN ANUNCIO ESPECTACULAR MEDIANTE EL MDOC. 119
4.1 INTRODUCCIÓN ..... 119
4.2 DENSIDAD DEL AIRE ..... 119
4.3 VIENTO SINÓPTICO ..... 122
4.4 VELOCIDAD DE DISEÑO, PROMEDIADA A 3s ..... 126
4.5 FUERZA ESTÁTICA EQUIVALENTE, PROMEDIADA A 3s ..... 128
4.7 FUERZA ESTÁTICA EQUIVALENTE, PROMEDIADA A 10 min ..... 130
4.8 EQUIVALENCIA ENTRE FUERZAS ESTÁTICAS 3s-10min, MDOC ..... 132
4.9 FORMULACIÓN DEL ASCE 7-16 (2017), 3s ..... 137
4.10 FORMULACIÓN DEL CÓDIGO EUROPEO EN-1991 ..... 142
4.11 RESPUESTA DE ANUNCIOS ESPECTACULARES SOMETIDOS A CARGAS DE VIENTO, CON EL MÉTODO DEL MDOC, DISEÑO POR VIENTO 2008 Y 2020, EL CÓDIGO EUROPEO EN-1991, EL MANUAL ASCE Y EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES ..... 146
4.12 CONCLUSIONES ..... 156
4.13 REFERENCIAS ..... 156
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE UN ANUNCIO ESPECTACULAR MEDIANTE EL USO DEL MDOC (2008, 2020) MODIFICADO ..... 159
5.1 INTRODUCCIÓN ..... 159
5.2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD BÁSICA DE DISEÑO ..... 159
5.3 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DINÁMICA DE BASE ..... 161
5.4 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA ..... 162
5.5 CÁLCULO DEL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DINÁMICA Y DEL FACTOR DE RESPUESTA DE RÁFAGA PARA ESTRUCTURAS PRISMÁTICAS (MODIFICADO) ..... 162
5.6 CÁLCULO DE LA FUERZA ESTÁTICA EQUIVALENTE, Feq, EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA ESTRUCTURAS PRISMÁTICAS Y CILÍNDRICAS (MODIFICADO) ..... 168
5.7 CÁLCULO DE LA FUERZAS EN EL TUBO ..... 170
5.8 RESPUESTA DE ANUNCIOS ESPECTACULARES SOMETIDOS A CARGAS DE VIENTO, CON EL MÉTODO DEL MDOC, DISEÑO POR VIENTO 2008 Y 2020 (MODIFICADO) ..... 172
5.9 MOMENTOS DE VOLTEO ..... 180
5.10 FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS EN LA CARTELERA PARA LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DEL TERRENO ..... 183
5.11 CONCLUSIONES ..... 195

5.12 REFERENCIAS ..... 195
CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE UN ANUNCIO ESPECTACULAR MEDIANTE EL USO DEL MDOC Y OTROS CÓDIGOS ..... 197
6.1 INTRODUCCIÓN ..... 197
6.2 PROCEDIMIENTO DE LOS MDOC ..... 197
6.3 PROCEDIMIENTO DEL CÓDIGO EUROPEO EN-1991 ..... 210
6.4 PROCEDIMIENTO DEL MANUAL ASCE ..... 219
6.5 FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS EN LA CARTELERA PARA LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DEL TERRENO ..... 226
6.6 CONCLUSIONES ..... 231
6.7 REFERENCIAS ..... 231
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES ..... 233
7.1 CONCLUSIONES ..... 233

# CAPÍTULO 1

# LETREROS ESPECTACULARES EN MÉXICO

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Hasta el año 2017 de las 32 entidades existentes en la República Mexicana solamente 3 de ellas contaban con una ley de publicidad exterior, las cuales son: Ciudad de México, Yucatán y Chiapas, y de los 2,456 municipios existentes en México únicamente alrededor de 100 de ellos tienen reglamentos de publicidad exterior, por lo cual la fundación de rescate y recuperación del paisaje urbano busca que se elabore una ley de publicidad a nivel estatal y federal.

Año con año en la Ciudad de México se colapsan varios anuncios espectaculares debido a las fuertes ráfagas de viento que ocurren en la temporada de ciclones tropicales, tornados o ráfagas descendentes; lo cual ha causado daños a vehículos, casas, arboles, vialidades y pone en riesgo la seguridad de las personas.

## 1.2 LETREROS ESPECTACULARES RETIRADOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO

Debido a la problemática generada por los anuncios espectaculares y sus irregularidades el Instituto de Verificación Administrativa de la Ciudad de México (INVEA) a partir de enero de 2015 y hasta febrero de 2018 retiró 7,674 anuncios espectaculares en la Ciudad de México, de acuerdo al programa de reordenamiento de la publicidad exterior. Dicho programa exige el cumplimiento de toda normatividad, así como también analizar los nuevos nodos publicitarios con un enfoque en el entorno urbano. La Figura 1.1 muestra la ubicación y el número de los letreros espectaculares que fueron retirados en el primer bimestre del programa que va de enero a febrero del año 2015, en este lapso de tiempo de retiraron o suspendieron 105 anuncios de los cuales 40 eran anuncios auto soportados y de azotea, 14 de ellos eran anuncios adosados y 51 anuncios en vallas.

Figura 1.1 Ubicación y número de letreros espectaculares que se retiraron, en la CdMx.

Para el cuatro bimestre el cual terminó en agosto de 2015, el aumentó en los letreros espectaculares que fueron retirados o suspendidos aumento de manera considerable, los anuncios auto soportados fueron 436,479 anuncios adosados y los anuncios en vallas 1,890, llevando a un total de 2,805 anuncios entre retiros y suspensiones. En la Figura 1.2 se puede ver que el incremento del número de letreros suspendidos o retirados.

Figura 1.2 Ubicación y número de retiro de espectaculares durante 2015.

El décimo tercer bimestre finalizó en febrero de 2017, un total de 4,760 anuncios fueron retirados o suspendidos contabilizándose: 1,183 anuncios auto soportados, 1,033 adosados y 2,478 vallas. En la Figura 1.3 se observa cómo incrementó la cantidad de anuncios retirados.

Figura 1.3 Ubicación y número de retiro de espectaculares durante 2017.

En el vigésimo primer y último bimestre el cual terminó en junio de 2018 el total de anuncios retirados es de 7,674 entre anuncios retirados y suspendidos, de los cuales 1,716 fueron anuncios auto soportados, 1,394 adosados y 4,503 vallas más 61 gallardetes publicitarios. En la Figura 1.4 se observa la cantidad de anuncios retirados en la Ciudad de México durante el programa de reordenamiento.

En la tabla 1.1 muestra los elementos retirados a partir de enero de 2015 hasta junio de 2018 en anuncios auto soportados y de azotea durante 19 bimestres, omitiendo los bimestres 18 y 19 de los cuales el INVEA no compartió información, cabe mencionar que los elementos retirados fueron lonas en su mayoría.

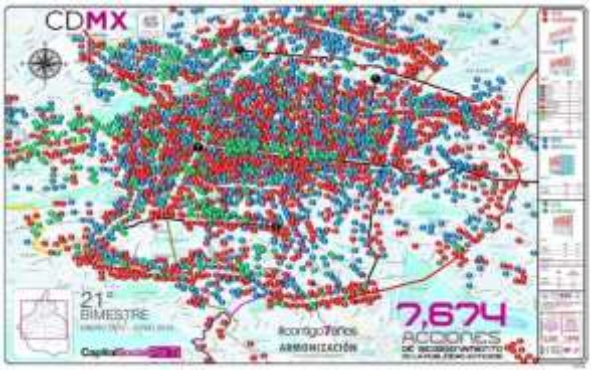



Figura 1.4 Anuncios espectaculares retirados en el vigésimo primer bimestre, 2018.

Tabla 1.1 Anuncios retirados y suspendidos de tipo auto soportado y de azotea.

| Bimestre | Suspensiones | Retiros | Total |
|---|---|---|---|
| 1 | 36 | 4 | 40 |
| 2 | 30 | 8 | 38 |
| 3 | 45 | 1 | 46 |
| 4 | 296 | 16 | 312 |
| 5 | 134 | 1 | 135 |
| 6 | 49 | 5 | 54 |
| 7 | 36 | 0 | 36 |
| 8 | 33 | 74 | 107 |
| 9 | 39 | 93 | 132 |
| 10 | 76 | 44 | 120 |

| Bimestre | Suspensiones | Retiros | Total |
|---|---|---|---|
| 11 | 24 | 37 | 61 |
| 12 | 33 | 0 | 33 |
| 13 | 17 | 32 | 49 |
| 14 | 36 | 16 | 52 |
| 15 | 24 | 70 | 94 |
| 16 | 44 | 21 | 65 |
| 17 | 16 | 15 | 31 |
| 20 | 171 | 110 | 281 |
| 21 | 2 | 28 | 30 |
| Acumulado | 1,141 | 575 | 1,716 |

Tabla 1.2 Anuncios retirados y suspendidos de tipo adosados.

| Bimestre | Suspensiones | Retiros | Total |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 13 | 14 |
| 2 | 30 | 157 | 187 |
| 3 | 6 | 14 | 20 |
| 4 | 8 | 250 | 258 |
| 5 | 9 | 157 | 166 |
| 6 | 36 | 32 | 68 |
| 7 | 11 | 15 | 26 |
| 8 | 62 | 6 | 68 |
| 9 | 11 | 59 | 70 |
| 10 | 1 | 69 | 70 |

| Bimestre | Suspensiones | Retiros | Total |
|---|---|---|---|
| 11 | 4 | 55 | 59 |
| 12 | 0 | 32 | 32 |
| 13 | 1 | 49 | 50 |
| 14 | 0 | 23 | 23 |
| 15 | 0 | 26 | 26 |
| 16 | 1 | 27 | 28 |
| 17 | 3 | 7 | 10 |
| 20 | 40 | 127 | 167 |
| 21 | 1 | 51 | 52 |
| Acumulado | 225 | 1,169 | 1,394 |

En las Tablas 1.2 y 1.3 se muestran los letreros retirados y suspendidos del tipo adosados y valla respectivamente; en la Tabla 1.4 contiene un resumen del total de letreros suspendidos y retirados entre enero de 2015 y junio de 2018 incluyendo también los gallardetes retirados en ese mismo lapso de tiempo.

Tabla 1.3 Anuncios retirados y suspendidos de tipo valla.

| Bimestre | Suspensiones | Retiros | Total |
|---|---|---|---|
| 1 | 24 | 27 | 51 |
| 2 | 478 | 531 | 1009 |
| 3 | 120 | 75 | 195 |
| 4 | 81 | 554 | 635 |
| 5 | 3 | 0 | 3 |
| 6 | 1 | 2 | 3 |
| 7 | 52 | 26 | 78 |
| 8 | 3 | 230 | 233 |
| 9 | 53 | 5 | 58 |
| 10 | 25 | 18 | 43 |

| Bimestre | Suspensiones | Retiros | Total |
|---|---|---|---|
| 11 | 44 | 0 | 44 |
| 12 | 2 | 0 | 2 |
| 13 | 102 | 22 | 124 |
| 14 | 20 | 10 | 30 |
| 15 | 2 | 237 | 239 |
| 16 | 2 | 179 | 181 |
| 17 | 6 | 58 | 64 |
| 20 | 1062 | 433 | 1495 |
| 21 | 16 | 0 | 16 |
| Acumulado | 2,096 | 2,407 | 4,503 |

Tabla 1.4 Resumen de anuncios retirados y suspendidos.

| Tipo | Suspensiones | Retirados | Total |
|---|---|---|---|
| Auto soportados y de azotea | 1141 | 575 | 1716 |
| Adosados | 225 | 1169 | 1394 |
| Vallas | 2096 | 2407 | 4503 |
| Gallardetes | 0 | 61 | 61 |
| Acumulado | 3,462 | 4,212 | 7,674 |

## 1.3 FALLAS DE LETREROS ESPECTACULARES EN MÉXICO

La cantidad de anuncios con irregularidades solamente en la Ciudad de México es de 7,674 una cantidad alarmante ya que muestra lo poco que se respetan las normas, hay lugares en la republica donde no existen normas para regularizar la instalación de estos anuncios, y lugares como el Estado de México donde se incumplen las normas, el artículo 17 del código administrativo del estado menciona que las azoteas, jardines, patios, terrenos o inmuebles con uso de suelo habitacional no están autorizados para instalar espectaculares, de cambiar el uso de suelo, los espectaculares deben estar a 20 metros de la vialidad, lo cual no se respeta en muchos casos.

Entre la falta de normatividad en muchos lugares de la República Mexicana y las irregularidades presentadas en los lugares donde si existen normas que regulen la publicidad, las fallas en los espectaculares debido a las fuertes ráfagas de viento han ido en aumento poniendo en peligro a las personas. En temporada de fuertes vientos, en muchos estados mandan comunicados a los ciudadanos para que eviten caminar o pararse cerca de dichas estructuras para evitar tragedias. Apagones, tránsito vehicular, daños a vehículos y otras estructuras, así como lesiones a personas y en algunos casos la muerte, son algunas de las consecuencias de la caída de estas estructuras.

### 1.3.1 Aguascalientes, 2000-2022

Aguascalientes es una entidad federativa de la República Mexicana localizada en la parte central del país, con una superficie de 5,680.33 kilómetros cuadrados lo cual representa el 0.3% de la superficie total del país, el estado cuenta con un clima semiseco, una temperatura máxima anual de 26.8 °C, la

mínima es de 11.5°C y su velocidad regional de viento de 118 km/h, en el periodo de tiempo que va del año 2000 a Junio de 2022 se tiene que hubo aproximadamente 27 espectaculares que fallaron, la Tabla 1.5 muestra el registro por año de dichos sucesos. Los años no mostrados en la Tabla 1.5, no se encontró evidencia de colapso de algún letrero espectacular. En la Figura 1.5 se muestra la falla de un espectacular que se ubicaba en Aguascalientes.

Tabla 1.5 Registro de espectaculares colapsados que se ubicaban en el estado de Aguascalientes.

| Año | Espectaculares |
|---|---|
| 2014 | 3 |
| 2015 | 8 |
| 2017 | 4 |
| 2018 | 3 |
| 2021 | 2 |
| 2022 | 7 |
| Total | 27 |

Figura 1.5 Lamina se desprende de espectacular, Aguascalientes (http://www.lja.mx/2017/07/)

### 1.3.2 Baja California, 2000-2022

La península de Baja California tiene una superficie de 145,100 kilómetros cuadrados, tomando en cuenta las pequeñas islas que están sobre los casi 3,000 km de costa. La temperatura anual es 31.4 °C mientras que la mínima es de 16.1°C, el clima es semiseco y su velocidad regional de viento es de 100 km/h. Cerca de 81 anuncios espectaculares cayeron a partir del año 2000 y hasta junio de 2022, la Tabla 1.6 contiene la información de dichos espectaculares por año.

Tabla 1.6 Registro de espectaculares colapsados que se ubicaban en el estado de Baja California.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2002 | 2 | 2014 | 42 |
| 2003 | 2 | 2015 | 2 |
| 2007 | 1 | 2017 | 24 |
| 2010 | 2 | 2018 | 1 |
| 2012 | 4 | 2020 | 1 |
| | | Total | 81 |

En la Figura 1.6 se muestra el colapso de un letrero espectacular ubicado en la ciudad de Baja California.

Figura 1.6 Espectacular colapsado, centro comercial de Baja California
(http://zetatijuana.com/2017/02/reportan-danos-por-vientos/)

### 1.3.3 Baja California Sur, 2000-2022

Baja California Sur se localiza al noroeste del país, cuenta con una superficie de 73 475 kilómetros cuadrados, la temperatura máxima es mayor a 40°C en verano y menor a 0°C en invierno, su velocidad regional de viento es de 135 km/h, aproximadamente 214 espectaculares cayeron en el periodo que va del año 2000 a junio de 2022. La Tabla 1.7 muestra el registro anual de caídas en la entidad federativa.

Tabla 1.7 Registro de espectaculares colapsados, Baja California Sur.

| Año | Espectaculares |
|---|---|
| 2006 | 4 |
| 2014 | 208 |
| 2016 | 2 |
| Total | 214 |

Figura 1.7 Espectacular derribado por las ráfagas ocasionadas por el huracán Odile
(http://www.bcsnoticias.mx/el-85-de-las-estructuras-derribadas-por-odile-en-la-paz-eran-anuncios-y-espectaculares/)

En la Figura 1.7 se muestra el colapso de un letrero espectacular que se ubicaba en Baja California, y que fue dañado debido a los vientos huracanados generados por el ciclón Odile en 2014.

### 1.3.4 Campeche, 2000-2022

El estado de Campeche tiene una superficie de 57,924 kilómetros cuadrados, su temperatura máxima anual es de 33.1°C mientras que la mínima es de 21.5°C, cuenta con una velocidad regional de viento

de 98 km/h, contando desde el año 2000 y hasta junio de 2022 hubo cerca de 22 anuncios espectaculares que cayeron debido a las ráfagas de viento y 7 que fueron retirados en el año 2018 debido al daño que sufrieron por las mismas razones, el registro anual de espectaculares se muestra en la Tabla 1.8, cabe mencionar que los 7 anuncios retirados fue debido a que estaban a punto de caer.

Tabla 1.8 Registro de espectaculares colapsados, Campeche.

| Año | Espectaculares |
|---|---|
| 2012 | 2 |
| 2015 | 5 |
| 2016 | 7 |
| 2017 | 4 |
| 2018 | 2 |
| 2019 | 2 |
| Total | 22 |

Figura 1.8 Campeche 2017, se revisan espectaculares para evitar riesgo a los ciudadanos (http://tribunacampeche.com/local/2017/06/03/supervisan-estructuras-anuncios-espectaculares/)

En la Figura 1.8 se muestra un letrero que se colapsó debido a fuertes vientos, en el estado de Campeche.

### 1.3.5 Chiapas, 2000-2022

Con una superficie de 74,415 kilómetros cuadrados, el estado de Chiapas es el octavo más grande del país, la temperatura anual máxima es de 32°C, la mínima es de 19.5°C y su velocidad regional de viento es de 90 km/h, 22 fueron los espectaculares que cayeron a causa del viento (Tabla 1.9).
En la Figura 1.9 se muestra un espectacular que es colapsó, cayendo arriba de un vehículo particular.

Figura 1.9 Espectacular colapsado sobre un automóvil, en el estado de Chiapas (http://www.diariodechiapas.com/landing/espectacular-cae-sobre-un-vehiculo/)

Tabla 1.9 Registro de espectaculares colapsados, Chiapas.

| Año | Espectaculares |
|---|---|
| 2002 | 1 |
| 2006 | 2 |
| 2016 | 13 |
| 2017 | 6 |
| Total | 22 |

### 1.3.6 Chihuahua, 2000-2022

Chihuahua es el estado con mayor superficie en el país con 247,455 kilómetros cuadrados, tiene una temperatura máxima anual de 25.5°C y una mínima cercana a los 10°C mientras que su velocidad regional de viento es de 122 km/h. En 2017 se presentó el mayor número de espectaculares colapsados con cerca 37, casi una tercera parte del número aproximado total de los espectaculares que fallaron de 2000 a junio de 2022 (Tabla 1.10).

Tabla 1.10 Registro de espectaculares colapsados, estado de Chihuahua.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2001 | 6 | 2017 | 37 |
| 2009 | 1 | 2018 | 18 |
| 2013 | 3 | 2019 | 28 |
| 2014 | 8 | 2020 | 3 |
| 2015 | 8 | 2021 | 12 |
| 2016 | 12 | 2022 | 5 |
| | | Total | 141 |

En la Figura 1.10 se muestra la falla de un letrero espectacular que se colapsó debido a fuertes vientos y que se ubicaba en la Ciudad de Juárez, Chihuahua.

Figura 1.10 Falla de espectacular en ciudad Juárez, Chihuahua (https://www.relevanciachihuahua.com/single-post/2018/01/10/Cae-espectacular-por-fuertes-vientos-en-Ju%C3%A1rez)

### 1.3.7 Ciudad de México, 2000-2022

La ciudad de México es una de las 32 entidades federativas del país, además de ser la capital del mismo, cuenta con una superficie de 1,495 kilómetros cuadrados, por su altura sobre el nivel del mar tiene un clima que va de templado a frío, se registran temperaturas mayores a 28°C en días calurosos, y menores que 0°C en algunos días de invierno y la velocidad regional de viento es de 98 km/h. Desde

el año 2000 hasta junio del año 2022 se tiene un aproximado de 290 espectaculares que se han caído en ese lapso de tiempo, como se muestra en la Tabla 1.11.

Tabla 1.11 Registro de espectaculares colapsados, Ciudad de México.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2000 | 16 | 2011 | 6 |
| 2001 | 19 | 2012 | 7 |
| 2002 | 19 | 2014 | 7 |
| 2003 | 12 | 2015 | 13 |
| 2004 | 4 | 2016 | 99 |
| 2005 | 5 | 2017 | 13 |
| 2006 | 2 | 2018 | 3 |
| 2007 | 12 | 2019 | 5 |
| 2008 | 24 | 2020 | 2 |
| 2009 | 4 | 2022 | 2 |
| 2010 | 16 | --- | -- |
| | | Total | 290 |

En la Figura 1.11 se muestra el colapso de un letrero espectacular que se ubicaba en la periferia del aeropuerto internacional de la ciudad de México, y que daño varios vehículos.

Figura 1.11 Espectacular caído en la terminal 2 del aeropuerto (https://www.sdpnoticias.com/local/ciudad-de-mexico/2017/10/01/cae-espectacular-en-terminal-2-del-aicm)

### 1.3.8 Coahuila de Zaragoza, 2000-2022

El estado de Coahuila de Zaragoza tiene una superficie de 151,563 kilómetros cuadrados siendo el tercero más extenso de la República Mexicana, su clima es generalmente seco con temperaturas máximas anuales de cerca de 30°C y la mínima de 12°C y su velocidad regional de viento 111 km/h, durante el periodo entre el año 2000 y junio de 2022 se encontraron alrededor de 63 espectaculares colapsados (Tabla 1.12).

Tabla 1.12 Registro de espectaculares colapsados, Coahuila de Zaragoza.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2002 | 1 | 2014 | 2 |
| 2006 | 1 | 2015 | 5 |
| 2008 | 14 | 2016 | 3 |
| 2009 | 4 | 2017 | 4 |
| 2010 | 6 | 2019 | 5 |
| 2011 | 2 | 2020 | 5 |
| 2012 | 8 | 2021 | 1 |
| 2013 | 1 | 2022 | 1 |
| | | Total | 63 |

Figura 1.12 Se repara lona de espectacular, Torreón Coahuila
(https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1117618.tormenta-electrica-provoca-danos.html)

En la Figura 1.12 se muestra el instante en el que está retirando la lona que se desprendió de un letrero espectacular debido a fuertes vientos, con lo anterior se evita que la lona produzca afectaciones secundarias.

### 1.3.9 Colima, 2000-2022

La superficie del estado de Colima es de 5,625 kilómetros cuadrados, lo cual lo ubica en el cuarto lugar en cuanto a los estados más pequeños en el país, predomina un clima semihúmedo con una temperatura de entre 24°C y 26°C y una velocidad regional de viento de 105 km/h. En la Tabla 1.13 se muestra el registro de 16 los espectaculares caídos entre el año 2000 y junio de 2022.

Tabla 1.13 Registro de espectaculares caídos en el estado de Colima.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2006 | 2 | 2014 | 2 |
| 2009 | 4 | 2015 | 2 |
| 2011 | 2 | 2020 | 1 |
| 2013 | 2 | 2021 | 1 |
| | | Total | 16 |

### 1.3.10 Durango, 2000-2022

El estado de Durango es el cuarto con mayor superficie con 123,451 kilómetros cuadrados, en su mayoría el estado cuenta con un clima seco con temperaturas máximas de 31°C, mínima de 1.7°C y una velocidad regional de viento de 106 km/h. Alrededor de 85 anuncios espectaculares fueron derribados por las ráfagas de viento entre 2000 y junio de 2022 (Tabla 1.14).

Tabla 1.14 Registro de espectaculares colapsados, estado de Durango.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2003 | 20 | 2017 | 4 |
| 2008 | 2 | 2018 | 2 |
| 2010 | 8 | 2019 | 2 |
| 2015 | 21 | 2022 | 2 |
| 2016 | 24 | --- | --- |
| | | Total | 85 |

### 1.3.11 Estado de México, 2000-2022

El estado de México cuenta con una superficie de 22,357 kilómetros cuadrados, domina el clima templado con temperaturas de 25°C la máxima y una mínima de alrededor de 3°C, además de una velocidad regional de viento de entre 81 y 91 km/h. Desde el año 2000 hasta junio de 2022 fueron 130 anuncios espectaculares los que derribaron las ráfagas de viento de los distintos sucesos. En la Tabla 1.15 se observa el registro de fallas en las estructuras de los espectaculares a lo largo de ese periodo. En la Figura 1.13 se muestra el colapso de un letrero espectacular sobre un vehículo, produciendo daño físico a los ocupantes del mismo.

Tabla 1.15 Registro de espectaculares colapsados, Estado de México.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2003 | 1 | 2015 | 3 |
| 2004 | 2 | 2016 | 88 |
| 2007 | 10 | 2017 | 9 |
| 2009 | 1 | 2018 | 1 |
| 2010 | 4 | 2020 | 1 |
| 2012 | 2 | 2021 | 2 |
| 2013 | 5 | 2022 | 1 |
| | | Total | 130 |

Figura 1.13 Espectacular colapsado en Metepec, Estado de México (http://laopcion.com.mx/noticia/128025#!/close)

### 1.3.12 Guanajuato, 2000-2022

Guanajuato tiene 30,608 kilómetros cuadrados de extensión, la temperatura más alta es de 30°C mientras que la mínima es de 5.2°C, predomina un clima seco en más de la mitad del territorio y tiene una velocidad regional de viento de 127 km/h, en el año 2016 se presentó la mayor cantidad de espectaculares derribados con 69 como se muestra en la Tabla 1.16.

Tabla 1.16 Registro de espectaculares colapsados, en el estado de Guanajuato.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2001 | 4 | 2017 | 4 |
| 2013 | 1 | 2018 | 12 |
| 2014 | 1 | 2020 | 2 |
| 2015 | 2 | 2021 | 2 |
| 2016 | 69 | -- | -- |
| | | Total | 97 |

En la Figura 1.14 se observa el colapso de un letrero espectacular que se ubicaba en el centro de exposiciones de Irapuato, Guanajuato.

Figura 1.14 Espectacular derrumbado en centro de exposiciones en Irapuato (http://notus.com.mx/clausuran-espectaculares-el-primero-que-se-cae-es-un-edificio-publico/)

### 1.3.13 Guerrero, 2000-2022

El estado de Guerrero tiene una superficie de 64,281 kilómetros cuadrados, es la décimo segunda entidad más poblada del país con un clima cálido subhúmedo, su temperatura de los 32°C en la máxima a 18°C en la mínima y una velocidad regional de 129 km/h.

Tabla 1.17 Registro de espectaculares colapsados, estado de Guerrero.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2001 | 4 | 2015 | 2 |
| 2009 | 5 | 2016 | 2 |
| 2010 | 5 | 2017 | 17 |
| 2012 | 2 | 2018 | 18 |
| 2014 | 1 | 2019 | 8 |
| | | Total | 64 |

### 1.3.14 Hidalgo, 2000-2022

Hidalgo es una de las 32 entidades federativas de la República Mexicana, tiene una superficie de 20 813.57 kilómetros cuadrados, presenta principalmente un clima seco con temperaturas que van desde los 27°C a 4°C aproximadamente, además tiene una velocidad regional de viento de 92 km/h.

Tabla 1.18 Registro de espectaculares colapsados, en el estado de Hidalgo.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2009 | 2 | 2016 | 4 |
| 2010 | 2 | 2018 | 1 |
| 2014 | 2 | 2020 | 1 |
| | | Total | 12 |

Figura 1.15 Espectacular colapsado en plaza de Hidalgo (http://www.capitalhidalgo.com.mx/local/cae-espectacular-de-plaza-perisur/).

### 1.3.15 Jalisco, 2000-2022

El estado de Jalisco es el séptimo más extenso con 78,599 kilómetros cuadrados, cerca del 70% de su superficie tiene un clima subhúmedo mientras que el resto un clima seco, su temperatura máxima es de 23°C mientras que la mínima de 7°C y cuenta con una velocidad regional de viento de 101 km/h, en 2002 se presentó la mayor cantidad de espectaculares caídos como se muestra en la Tabla 1.19.

Tabla 1.19 Registro de espectaculares caídos en el estado de Jalisco.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2000 | 9 | 2011 | 1 |
| 2001 | 1 | 2015 | 2 |
| 2002 | 20 | 2016 | 5 |
| 2003 | 2 | 2017 | 1 |
| 2004 | 10 | 2018 | 1 |
| 2005 | 1 | 2019 | 4 |
| 2006 | 1 | 2020 | 2 |
| 2009 | 1 | 2021 | 1 |
| | | Total | 62 |

En la Figura 1.16 se muestra el colapso de un espectacular de una tienda de comida rápida en Jalisco.

Figura 1.16 Cae espectacular en restaurante de comida rápida (https://traficozmg.com/2017/07/anuncio-espectacular-cae-restaurante-comida-rapida/).

### 1.3.16 Michoacán de Ocampo, 2000-2022

El estado de Michoacán cuenta con una superficie territorial de 59,928 kilómetros cuadrados, cuenta con un clima cálido subhúmedo con temperaturas que alcanzan los 31°C mientras que la mínima llega a los 8°C, también tiene una velocidad regional de viento de 79 km/h, durante el periodo que va del año 2000 a junio de 2022 hubo aproximadamente 76 espectaculares caídos (Tabla 1.20).

Tabla 1.20 Registro de espectaculares caídos, estado de Michoacán de Ocampo.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2001 | 2 | 2017 | 2 |
| 2005 | 3 | 2018 | 2 |
| 2009 | 2 | 2019 | 15 |
| 2016 | 50 | --- | -- |
| | | Total | 76 |

En la Figura 1.17 se muestra el colapso de un espectacular con la leyenda de protección civil del Estado de Michoacán.

Figura 1.17 Espectacular cae sobre árboles en Michoacán
(http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/03/9/en-alerta-30-municipios-de-michoacan-por-tormenta-invernal).

### 1.3.17 Morelos, 2000-2022

Morelos es el segundo estado con menor extensión de la República Mexicana con 4,893 kilómetros cuadrados, alrededor del 90% de la superficie del estado tiene un clima cálido con temperaturas cercanas 32°C la máxima y 10°C la mínima, su velocidad de regional de viento es de 93 km/h. La Tabla 1.21 muestra el registro anual de colapsos de letreros espectaculares entre los años 2000 y 2022.

Tabla 1.21 Registro de espectaculares colapsados, Estado de Morelos.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2009 | 1 | 2016 | 12 |
| 2011 | 3 | 2017 | 4 |
| 2013 | 2 | 2018 | 1 |
| 2014 | 1 | 2019 | 2 |
| 2015 | 1 | 2020 | 1 |
| | | Total | 28 |

### 1.3.18 Nayarit, 2000-2022

Nayarit es una de las 32 entidades federativas del país, la novena menos extensa con 27,815 kilómetros cuadrados, predomina el clima cálido con 35°C de temperatura máxima mientras que la mínima es de 12°C, la velocidad regional de viento en el estado de Nayarit es de 84 km/h.

Tabla 1.22 Registro de espectaculares colapsados, Estado de Nayarit.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2001 | 5 | 2017 | 2 |
| 2003 | 2 | 2018 | 2 |
| | | Total | 11 |

### 1.3.19 Nuevo León, 2000-2022

El estado de Nuevo León, ubicado en el norte del país tiene una superficie de 64,156 kilómetros cuadrados, tiene un clima seco con temperaturas que alcanzan 32°C en los meses de mayo a agosto, mientras que en el mes de enero la mínima es de 5°C, Nuevo León cuenta con una velocidad regional de viento de 123 km/h.

Tabla 1.23 Registro de espectaculares caídos en el estado de Nuevo León.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2002 | 4 | 2015 | 7 |
| 2005 | 1 | 2016 | 10 |
| 2006 | 2 | 2017 | 25 |
| 2008 | 20 | 2018 | 1 |
| 2012 | 2 | 2020 | 2 |
| 2014 | 9 | 2021 | 2 |
| | | Total | 85 |

En la Figura 1.18 se muestra una estructura de un espectacular que se colapsó en Nuevo León.

Figura 1.18 Espectacular caído en Nuevo León (http://www.elhorizonte.mx/local/tormenta-electrica-y-fuertes-vientos-sorprenden-a-regios/1676414).

### 1.3.20 Oaxaca, 2000-2022

Oaxaca es un estado localizado en la parte sur del país, con una superficie territorial de 95,364 kilómetros cuadrados, una temperatura máxima de 31°C, la mínima es del orden de 12.5°C, tiene un clima cálido subhúmedo y una velocidad regional de viento de 109 km/h.

Tabla 1.24 Registro de espectaculares colapsados, en el estado de Oaxaca.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2003 | 2 | 2017 | 11 |
| 2014 | 3 | 2018 | 1 |
| 2015 | 2 | 2021 | 2 |
| 2016 | 8 | --- | -- |
| | | Total | 29 |

### 1.3.21 Puebla, 2000-2022

La superficie en el estado de Puebla es de 34,251 kilómetros cuadrados lo que lo ubica en la posición número 21 en cuanto a extensión territorial en el país, Puebla tiene un clima templando subhúmedo con temperaturas que van desde los 28.5°C en primavera y 6.5°C en el invierno. La velocidad regional de viento en el estado de Puebla es de 93 km/h, debido a las ráfagas de viento se derrumbaron cerca de 46 espectaculares entre el año 2000 y junio de 2022 (Tabla 1.25).

Tabla 1.25 Registro de espectaculares caídos en el estado de Puebla.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2008 | 2 | 2016 | 11 |
| 2011 | 1 | 2017 | 2 |
| 2013 | 23 | 2018 | 1 |
| 2014 | 5 | 2021 | 1 |
| | | Total | 46 |

Figura 1.19 Falla espectacular en Puebla, 2016 (https://intoleranciadiario.com/articles/2016/03/10/142134-caida-de-arboles-y-espectaculares-la-constante-de-la-jornada.html).

En la Figura 1.19 se muestra una falla típica que se presenta en espectaculares tipo monopolo, en Puebla.

### 1.3.22 Querétaro, 2000-2022

Querétaro es el quinto estado con menor superficie la cual es de 11,684 kilómetros cuadrados, tiene una velocidad regional de viento de 103 km/h, su clima mayormente seco y cálido subhúmedo en la región de la sierra. En Querétaro se alcanzan temperaturas de 28°C en la máxima y de 6°C en la mínima la cual ocurre en el invierno.

Tabla 1.26 Registro de espectaculares colapsados en el estado de Querétaro.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2010 | 6 | 2016 | 43 |
| 2013 | 1 | 2020 | 1 |
| 2015 | 2 | --- | --- |
| | | Total | 53 |

### 1.3.23 Quintana Roo, 2000-2022

La superficie del estado de Quintana Roo es de 50,843 kilómetros cuadrados, incluye islas como Cozumel, isla Mujeres e isla Blanca entre otras, el estado representa el 2.55% del territorio de la nación. Casi en su totalidad tiene un clima cálido subhúmedo con excepción de la isla de Cozumel que tiene clima cálido húmedo, la temperatura máxima en el estado es de cerca de 33°C, mientras que la mínima está en 17°C, además cuenta con una velocidad regional de viento de 124 km/h.

Tabla 1.27 Registro de espectaculares colapsados, en el estado de Quintana Roo.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2001 | 2 | 2017 | 2 |
| 2005 | 8 | 2018 | 3 |
| 2010 | 2 | 2019 | 2 |
| 2016 | 12 | 2020 | 5 |
| | | Total | 36 |

En la Figura 1.21se observa la rotura y desprendimiento de la lona que formaba el letrero espectacular, ubicado en Yucatán.

Figura 1.21 Lona se desprende de espectacular debido al frente frio 44, abril de 2016 (https://www.yucatanalamano.com/destacado/fuerte-lluvia-desquicia-cancun-se-caen-espectaculares-y-arboles/)

### 1.3.24 San Luis Potosí, 2000-2022

El estado de San Luis Potosí se encuentra en la décimo quinta posición en cuando a territorio, cuenta con una superficie de 65,268 kilómetros cuadrados, predomina el clima seco con temperaturas de 32°C en la máxima y de 8.4°C de mínima la cual ocurre en enero. Se derrumbaron alrededor de 75 espectaculares debido a las ráfagas de viento del año 2000 a junio de 2022 como se muestra en la Tabla 1.28, cabe mencionar que la velocidad regional de viento en el estado de San Luis Potosí es de 126 km/h.

Tabla 1.28 Registro de espectaculares caídos en el estado de San Luis Potosí.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2001 | 3 | 2015 | 3 |
| 2004 | 2 | 2016 | 15 |
| 2008 | 2 | 2017 | 28 |
| 2013 | 3 | 2020 | 13 |
| 2014 | 6 | --- | --- |
| | | Total | 75 |

En la Figura 1.22 se observa el colapso de un letrero sobre un vehículo en San Luis Potosí.

Figura 1.22 Espectacular colapsado sobre un vehículo en San Luis Potosí (http://antenasanluis.mx/clausuran-tienda-por-espectacular-que-lesiono-a-tres/).

### 1.3.25 Sinaloa, 2000-2022

El estado de Sinaloa está ubicado en la región noroeste del país, cuenta con una superficie de 58,200 kilómetros cuadrados, lo que lo coloca en la decimó séptima posición en cuanto a territorio, su clima va de cálido subhúmedo hasta seco en algunas partes del estado, incluso templado en una zona pequeña, la temperatura máxima es de 36°C durante el final de la primavera y el inicio del verano, mientras que la mínima ocurre a mediados del invierno y es de 10.5°C, tiene una velocidad regional de viento de 94 km/h. Fueron cerca de 34 espectaculares derribados por las ráfagas de viento de 2000 a junio de 2022 como muestra la Tabla 1.29, siendo el año 2019 cuando sufrió más estructuras caídas con 8 a lo largo del año.

Tabla 1.29 Registro de espectaculares caídos en el estado de Sinaloa.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2009 | 2 | 2017 | 2 |
| 2013 | 2 | 2018 | 4 |
| 2014 | 4 | 2019 | 8 |
| 2015 | 6 | 2021 | 3 |
| 2016 | 3 | --- | --- |
| | | Total | 34 |

### 1.3.26 Sonora, 2000-2022

Sonora es una de las 32 entidades federativas de la República Mexicana, con una superficie de 179, 355 kilómetros cuadrados, lo que lo convierte en el segundo estado con una mayor extensión territorial de todo el país. Tiene un clima que va de una máxima de 38°C en verano y en invierno una mínima de 5°C. Su clima va desde seco hasta muy seco en la mayoría del estado, además tiene una velocidad regional de viento de 122 km/h, en la Tabla 1.30 se muestra el registro de espectaculares caídos desde el año 2000 hasta junio de 2022, con un total de 44 en ese periodo.

Tabla 1.30 Registro de espectaculares colapsados, en el estado de Sonora.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2002 | 2 | 2016 | 11 |
| 2004 | 2 | 2017 | 6 |
| 2008 | 2 | 2018 | 5 |
| 2011 | 1 | 2019 | 2 |
| 2013 | 5 | 2020 | 6 |
| 2014 | 4 | 2021 | 2 |
| 2015 | 6 | --- | --- |
| | | Total | 54 |

En la Figura 1.23 se observa el colapso de un letrero monopolar sobre un vehículo taxi, em Sonora.

Figura 1.23 Espectacular caído sobre automóvil (http://www.elregionaldesonora.com.mx/noticia/17491).

### 1.3.27 Tabasco, 2000-2022

Tabasco tiene una superficie de 24,738 kilómetros cuadrados, predomina el clima cálido húmedo, tiene temperaturas que van desde 36°C a 18.5°C y una velocidad regional de viento de 114 km/h.

Tabla 1.31 Registro de espectaculares caídos en el estado de Tabasco.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2006 | 2 | 2016 | 1 |
| 2010 | 2 | 2017 | 5 |
| 2015 | 2 | 2019 | 2 |
| | | Total | 14 |

En la Figura 1.24 se observa una falla típica que se presenta en los letreros debido a ráfagas viento.

Figura 1.24 Espectacular caído Tabasco (http://www.diariodetabasco.mx/escenario-politico/2017/07/03/furiosa-lluvia/).

### 1.3.28 Tamaulipas, 2000-2022

El estado de Tamaulipas es el séptimo con mayor extensión territorial en el país con una superficie de 79 384 kilómetros cuadrados, principalmente tiene un clima cálido subhúmedo con temperaturas de 22°C y de 10°C, además de una velocidad regional de viento de 135 km/h.

Tabla 1.32 Registro de espectaculares caídos, en el estado de Tamaulipas.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2001 | 2 | 2015 | 11 |
| 2003 | 18 | 2016 | 73 |
| 2005 | 2 | 2017 | 5 |
| 2008 | 2 | 2018 | 1 |
| 2010 | 4 | 2019 | 1 |
| 2011 | 2 | 2020 | 6 |
| 2012 | 3 | 2021 | 1 |
| 2013 | 6 | 2022 | 3 |
| | | Total | 140 |

Figura 1.25 Se desprende lona de espectacular (http://www.laprensa.mx/notas.asp?id=435973)

En la Figura 1.25 se muestra el desprendimiento de la lona de un espectacular ubicado en Tamaulipas, debido a fuertes vientos.

### 1.3.29 Tlaxcala, 2000-2022

Tlaxcala es el segundo estado con menor superficie territorial, con 4 016 kilómetros cuadrados, tiene un clima templado con temperaturas de 25°C a 1.5°C en invierno, y su velocidad regional de viento es de 87 km/h.

Tabla 1.33 Registro de espectaculares caídos, en el estado de Tlaxcala.

| Año | Espectaculares |
|---|---|
| 2014 | 1 |
| 2016 | 3 |
| Total | 4 |

### 1.3.30 Veracruz, 2000-2022

El estado de Veracruz cuenta con una superficie de 71,820 kilómetros cuadrados, un clima cálido húmedo con temperaturas de 32°C y 13°C como mínima y una velocidad regional de viento de 150 km/h, en el año de 2007 Veracruz cuenta con un total de 205 espectaculares derribados a causa de los fuertes vientos, y un total de 419 desde el año 2000 a junio de 2022 como se muestra en la Tabla 1.34.

Tabla 1.34 Registro de espectaculares colapsados en el estado de Veracruz.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2001 | 22 | 2014 | 26 |
| 2002 | 2 | 2015 | 31 |
| 2003 | 30 | 2016 | 44 |
| 2006 | 6 | 2017 | 15 |
| 2007 | 205 | 2018 | 5 |
| 2008 | 13 | 2019 | 6 |
| 2010 | 2 | 2020 | 1 |
| 2011 | 4 | 2021 | 1 |
| 2012 | 2 | 2022 | 4 |
| | | Total | 419 |

En la Figura 1.26 se muestra el colapso de un letrero ubicado en el estado de Veracuz.

Figura 1.26 Se derrumba espectacular en Veracruz
(http://fotos.eluniversal.com.mx/coleccion/muestra_fotogaleria.html?idgal=5961)

### 1.3.31 Yucatán, 2000-2022

Yucatán es uno de las 32 entidades federativas de la República Mexicana, tiene un clima cálido subhúmedo en la mayoría del estado y seco en la parte norte del mismo, su temperatura va de 36°C a 16°C y tiene una velocidad regional de viento de 122 km/h.

Tabla 1.35 Registro de espectaculares caídos en el estado de Yucatán.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2012 | 4 | 2018 | 5 |
| 2016 | 4 | 2021 | 3 |
| 2017 | 6 | --- | -- |
| | | Total | 22 |

### 1.3.32 Zacatecas, 2000-2022

El estado de Zacatecas cuenta con una superficie de 77,684 kilómetros cuadrados, su clima es seco en más del 70% del territorio y subhúmedo en el resto, tiene una temperatura de 30°C en primavera mientras que en el invierno llega hasta 3°C. La velocidad regional de viento del estado de Zacatecas es de 110 km/h, en el año 2010 se cayeron 27 espectaculares debido a las fuertes ráfagas de viento (Tabla 1.36).

Tabla 1.36 Registro de espectaculares caídos en el estado de Zacatecas.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2008 | 2 | 2014 | 15 |
| 2009 | 4 | 2015 | 21 |
| 2010 | 27 | 2016 | 15 |
| 2011 | 10 | 2017 | 22 |
| 2012 | 12 | 2018 | 14 |
| 2013 | 16 | --- | -- |
| | | Total | 158 |

En la Figura 1.27 se muestra la cartelera de un letrero espectacular que colapsó y que se ubicaba en Zacatecas.

Figura 1.27 Espectacular caído Zacatecas (https://www.imagenzac.com.mx/nota/157598-Fuertes-vientos-ocasionan-la-ca%C3%ADda-de-u).

## 1.4 RESUMEN DE MONOPOLOS COLAPSADOS, 2000-2022

En la Figura 1.28 se muestra en forma representativa el número de letreros espectaculares que se colapsaron durante el periodo comprendido entre los años 2000 a 2022, en cada uno de los estados de la República Mexicana. En el estado de Veracruz es en el que mayor número de letreros espectaculares se han colapsado, reportándose 419. Le sigue la Ciudad de México con 290 y el estado de Baja California Sur con 214. Según la información recabada en este trabajo, el estado que menor número de letreros colapsados reporta es Tlaxcala, con 4.

Figura 1.28 Número de letreros espectaculares que se colapsaron por entidades federativa de la República Mexicana, periodo 2000-2022.

En la Tabla 13.37 se resumen el número de letreros espectaculares que se colapsaron durante el periodo comprendido del año 2000 al 2022, por estado de la República Mexicana y su porcentaje relativo con respecto al número total de letreros colapsados.

Tabla 1.37 Resumen de letreros espectaculares colapsados por entidad federativa, periodo 2000-2022.

| Estado | Número de monopolos | % | Estado | Número de monopolos | % |
|---|---|---|---|---|---|
| Aguascalientes | 27 | 1.0345 | Morelos | 28 | 1.072 |
| Baja California | 81 | 3.1034 | Nayarit | 11 | 0.42 |
| Baja California Sur | 214 | 8.199 | Nuevo León | 85 | 3.2567 |
| Campeche | 22 | 0.8429 | Oaxaca | 29 | 1.11 |
| Chiapas | 22 | 0.8429 | Puebla | 46 | 1.762 |
| Chihuahua | 141 | 5.402 | Querétaro | 53 | 2.031 |
| Ciudad de México | 290 | 11.11 | Quintana Roo | 36 | 1.379 |
| Coahuila | 63 | 2.413 | San Luis Potosí | 75 | 2.873 |
| Colima | 16 | 0.613 | Sinaloa | 34 | 1.302 |
| Durango | 85 | 3.2567 | Sonora | 54 | 2.069 |
| Estado de México | 130 | 4.98 | Tabasco | 14 | 0.536 |
| Guanajuato | 97 | 3.716 | Tamaulipas | 140 | 5.364 |
| Guerrero | 64 | 2.452 | Tlaxcala | 4 | 0.153 |
| Hidalgo | 12 | 0.46 | Veracruz | 419 | 16.053 |
| Jalisco | 62 | 2.375 | Yucatán | 22 | 0.843 |
| Michoacán | 76 | 2.912 | Zacatecas | 158 | 6.053 |

El número total de letreros espectaculares que se colapsaron durante el periodo comprendido del año 2000 al 2022, en la República Mexicana fue de 2,610 que representa una cantidad alarmante.

## 1.5 REGISTRO DE CICLONES TROPICALES

En la República Mexicana se colapsaron alrededor de 2,610 anuncios espectaculares del 2000 al 2022, en los diferentes estados que forman la República (Tabla 1.38). Para el registro de los ciclones tropicales se tomarán en cuenta los años 2014, 2016 y 2017 ya que fueron los años con la mayor cantidad de espectaculares caídos, en el 2014 hubo 6 ciclones tropicales que tocaron tierra directamente en México, 4 entraron por el océano Pacifico y dos por el Atlántico, en la Tabla 1.39 se muestra la velocidad de las ráfagas de viento y la fecha que toco tierra.

Tabla 1.38 Registro de espectaculares colapsados por año en la República Mexicana.

| Año | Espectaculares | Año | Espectaculares |
|---|---|---|---|
| 2000 | 25 | 2012 | 48 |
| 2001 | 70 | 2013 | 73 |
| 2002 | 51 | **2014** | **355** |
| 2003 | 89 | 2015 | 157 |
| 2004 | 20 | **2016** | **647** |
| 2005 | 20 | **2017** | **263** |
| 2006 | 22 | 2018 | 104 |
| 2007 | 228 | 2019 | 92 |
| 2008 | 83 | 2020 | 53 |
| 2009 | 31 | 2021 | 36 |
| 2010 | 86 | 2022 | 25 |
| 2011 | 32 | -- | -- |
| | | Total | 2,610 |

En la Figura 1.29 se muestran el número de letreros espectaculares colapsado por año, durante el periodo del 2000 al 2022.

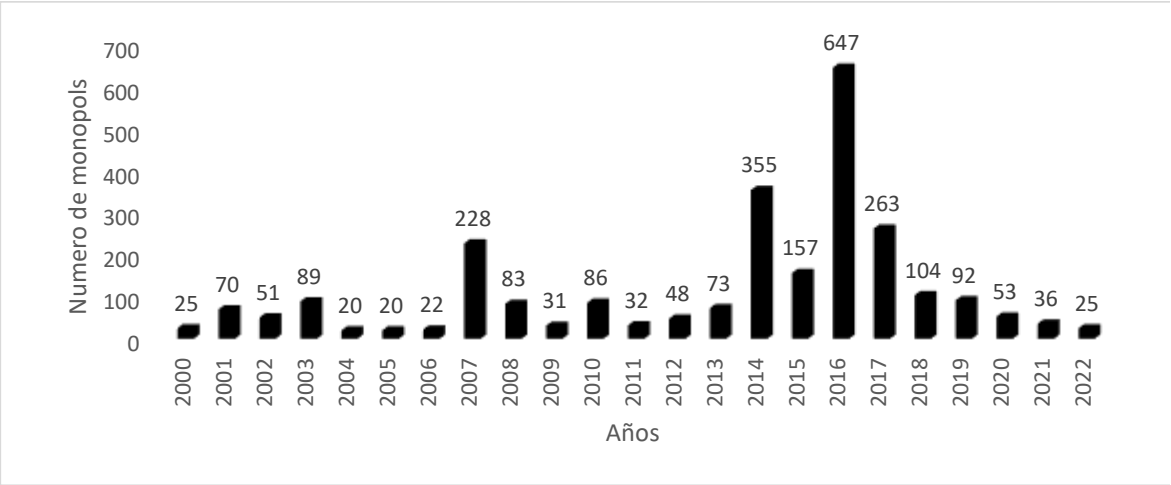



Figura 1.29 Número de letreros espectaculares colapsados por año, periodo 2000-2022.

El huracán Odile toco tierra el 14 de septiembre de 2014, 10 km al este de Cabo San Lucas, Baja California Sur, los vientos máximos sostenidos fueron de 205 km/h y con rachas de 250 km/h, ocasiono una gran cantidad de daños en el estado, de los 355 espectaculares caídos en el año 2014,

205 fueron derribados por Odile, únicamente en Baja California Sur, por lo que este se considera el evento que mayor daño causo a los espectaculares en 2014.

Tabla 1.39 Registro de ciclones tropicales en México (2014).

| Océano Pacífico | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | Nombre | Etapa o Categoría | Periodo | Vientos Máximos km/h | |
| | | | | Sostenidos | Rachas |
| 1 | Boris | TT | 2-4 jun | 65 | 85 |
| 2 | Odile | H (IV) | 10-17 sep. | 215 | 260 |
| 3 | Trudy | TT | 17-18 oct | 95 | 110 |
| 4 | Vance | H (III) | 30 oct-5 nov | 175 | 215 |
| **Océano Atlántico** | | | | | |
| 1 | Dolly | TT | 1-3 sep. | 85 | 100 |
| 2 | Hanna | TT | 21-27 oct. | 65 | 85 |

En la Tabla 1.39 la nomenclatura utilizada es TT tormenta tropical; H (I-V) huracán y categoría alcanzada en la escala de Saffir-Simpson.

En 2016 hubo 6 ciclones tropicales que tocaron tierra en México, 3 de ellos fueron en el océano Pacifico y 3 en el Atlántico, de todos ellos el huracán Newton fue el que presentó rachas de viento con la mayor velocidad, 140 km/h fue la velocidad del viento cuando Newton toco tierra en Baja California Sur el día 6 de septiembre de 2016. La Tabla 1.40 muestra los eventos, así como la velocidad de viento de los ciclones tropicales que tocaron México en ese año.

Tabla 1.40 Registro de ciclones tropicales en México (2016).

| Océano Pacífico | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| No. | Nombre | Etapa o Categoría | Periodo | Vientos Máximos km/h | |
| | | | | Sostenidos | Rachas |
| 1 | Depresión tropical No.1 | Depresión tropical | 6-8 jun. | 55 | 75 |
| 2 | Javier | Tormenta tropical | 10-17 sep. | 215 | 260 |
| 3 | Newton | Huracán (I) | 17-18 oct. | 95 | 110 |
| **Océano Atlántico** | | | | | |
| 1 | Colin | Tormenta tropical | 5-7 jun | 95 | 110 |
| 2 | Danielle | Tormenta tropical | 7-9 ago. | 100 | 120 |
| 3 | Earl | Huracán (I) | 4-7 sep. | 150 | 185 |

En 2017 hubo 6 ciclones tropicales que tocaron tierra en la costa de la República Mexicana, 4 de ellos entraron por el océano Pacifico y 2 en el océano Atlántico, de los seis Katia un huracán de categoría 2 que toco tierra en rancho nuevo Veracruz fue el que tuvo velocidades de viento más altas con rachas de hasta 205 km/h.
En la Tabla 1.41 se reportan los ciclones tropicales que se presentaron durante el año 2017 y que tocaron tierra, así como las velocidades alcanzadas.

Tabla 1.41 Registro de ciclones tropicales en México (2017).

| No. | Nombre | Etapa o Categoría | Periodo | Vientos Máximos km/h | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Sostenidos | Rachas |
| **Océano Pacífico** | | | | | |
| 1 | Beatriz | Tormenta tropical | 31 may-2 jun. | 75 | 95 |
| 2 | Calvin | Tormenta tropical | 11-13 jun. | 65 | 95 |
| 3 | Lidia | Tormenta tropical | 29 ago-3 sep. | 100 | 120 |
| 4 | Max | Huracán (I) | 13-15 sep. | 130 | 155 |
| **Océano Atlántico** | | | | | |
| 1 | Franklin | Huracán (I) | 6-10 ago. | 140 | 165 |
| 2 | Katia | Huracán (II) | 5-9 sep. | 155 | 205 |

Como se puede intuir los ciclones tropicales han sido responsables del colapso de la gran mayoría de letreros espectaculares en México.

## 1.6 CONCLUSIONES

- Hasta el año 2017 de las 32 entidades existentes en la República Mexicana solamente Ciudad de México, Yucatán y Chiapas contaban con reglamentos de publicidad exterior, debido a esto se tiene una gran problemática en la republica ya que no se cuenta con lineamientos que puedan orientar a los publicistas para la colocación de sus anuncios, además de tener una gran cantidad de irregularidades en donde si se cuenta con reglamentos.
- Debido a la problemática que generan los anuncios, durante el lapso de tiempo que comprende el año 2015 hasta junio de 2018 el INVEA suspendió 1,141 anuncios y retiró aproximadamente 575 anuncios, entre auto soportados y anuncios de azotea.
- Del año 2000 a junio de 2022 se tienen 2,610 anuncios colapsados, de esos, solamente en los años 2014, 2016 y 2017 hubo 1,265 anuncios colapsados, lo cual corresponde aproximadamente al 48% del total, teniendo que en esos tres años se tuvieron eventos con fuertes rechas de viento que tocaron tierra en la República Mexicana, los cuales fueron responsables de la mayor cantidad de colapsos de anuncios, por lo cual, es notorio y preocupante el gran incremento que se genera en temporada de huracanes.
- Es de notarse que las ciudades del centro del país, que no es considerada zona de incidencia de huracanes, y en donde se encuentran ciudades como la Ciudad de México, se reportan 290 letreros espectaculares que se colapsaron; en el Estado de México 130 y en Guanajuato 97, incluso, Zacatecas con 158; por lo que hay eventos de fuertes rachas de vientos, no asociadas a los huracanes que han incidido en el colapso de este tipo de estructuras. Es posible, que vientos como las ráfagas descendentes o los tornados sean los responsables de dichos daños.
- Curiosamente en algunos estados en los que si hay fuerte incidencia de huracanes como Yucatán (22), Campeche (22), Chiapas (22), Tabasco (14) y Oaxaca (29); el número de letreros que se colapsaron es relativamente bajo.

## 1.7 REFERENCIAS

https://www.invea.cdmx.gob.mx/mapas/armonizacion_imagen
https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/informacion-historica

https://www.uniradioinforma.com/noticias/cdobregon/533678/Arboles-y-espectaculares-caidos-fue-el-saldo-de-la-lluvia-de-ayer.html?fbclid=IwAR1s8JWQhjUHd63RDznU82DoIybkruVGX5AmmXvglb0TbcSB-TmeyQnVfcI
http://www.zocalo.com.mx/reforma/detail/pega-frente-10-a-veracruz-y-oaxaca?fbclid=IwAR0plCLZpjxdzIZ-3pDYTTq3KMsG638jjRVx0xqMIj_K4zjADmVpudzttpw
https://twitter.com/tribunacampeche/status/1062726150642839552?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Ctwterm%5E1062726150642839552&ref_url=https%3A%2F%2Fwww.mimorelia.com%2Flas-fotos-y-videos-captados-del-frente-frio-en-mexico%2F&fbclid=IwAR1xI7j0-Tx-vYq2e-LG8yjg5RXqmQZyKARAs3GP_7XQvCl_lSl6vldIFIw
http://www.e-veracruz.mx/nota/2018-01-12/estado/norte-deja-arboles-y-espectaculares-caidos-en-veracruz?fbclid=IwAR2zjirg8zDBuiwPGZ_4y84RdlSUL2VxmTalKvVesbYheT1Z-6ayHKSe7zw
https://suracapulco.mx/2018/06/17/cuatro-lesionados-y-65-arboles-15-espectaculares-y-dos-bardas-caidos-en-acapulco/?fbclid=IwAR12pMsJxqN99mVASU3CjmDTLqh-rTQBgbYGH35avu_tvIVBKscRnyTEFrs
https://noticaribe.com.mx/2018/07/10/deja-turbonada-arboles-y-espectaculares-caidos-y-cortes-de-energia-electrica-en-colonias-de-merida/?fbclid=IwAR2U3_o0HVrC97SfUbj8OVWxqVFHCN4fyuVf8U4S7UD9UAs7pywjN1iuni0
https://www.diariocambio.com.mx/2018/regiones/angelopolis/item/1049-fuertes-vientos-dejan-afectaciones-en-tecamachalco-tepeaca-y-tlachichuca?fbclid=IwAR0XXxw5cWPUL4U1vODrkrDNOAfrDAmHcWly_NOy1K9k93IIfWwLPj94yJU
http://diariobasta.com/2018/07/10/tiran-viento-y-lluvia-20-espectaculares/?fbclid=IwAR0SJUQLpevee1-Jtiayvpij_zK-Jv0xrS_qXN0VcwJhPBfKveC8A7PWHgc
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/lluvias-dejan-encharcamientos-y-nueve-techos-caidos-yucatan/?fbclid=IwAR2zjirg8zDBuiwPGZ_4y84RdlSUL2VxmTalKvVesbYheT1Z-6ayHKSe7zw
https://suracapulco.mx/2018/06/18/cuatro-lesionados-tres-de-ellos-turistas-caida-de-arboles-y-seis-viviendas-con-danos-dejo-carlota/?fbclid=IwAR1ABHZWFhqlMmDx7XgjWufTDbododMezd_86WWHUdn6YbWZv9mb-qQpoFA
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/lluvia-y-granizada-causa-afectaciones-valle-mexico/?fbclid=IwAR2HHxjnvOYBjVboyr4L75IjTCpnj2wV6KyCxN9bTGaepGvIfWTEUUO3_VM
http://www.aztecanoticias.com.mx/cae-anuncio-espectacular/3292022
http://www.lja.mx/2018/01/tepjf-confirma-los-lineamientos-identificacion-anuncios-espectaculares/
http://www.aguascalientes.gob.mx/cplap/Docs/Sistema%20de%20Control%20Interno%20Institucional/2017/9.-REGLAMENTO_INTERIOR_CEPLAP.pdf
http://jornadabc.mx/tijuana/09-01-2018/continuaran-lluvias-hasta-el-miercoles-por-la-manana
http://www.lja.mx/2018/08/ha-atendido-proteccion-civil-390-reportes-por-lluvias-en-aguascalientes/?fbclid=IwAR2kzxJayWDLQPJkENMKfIoN1LufFru29mj_5Hl-R6pWJmRAWIrtcbkgksU
https://www.eldictamen.mx/2018/11/boca-ver/este-fin-de-semana-rescatan-a-6-turistas-en-playas-de-boca-del-rio/?fbclid=IwAR2HHxjnvOYBjVboyr4L75IjTCpnj2wV6KyCxN9bTGaepGvIfWTEUUO3_VM
http://www.tiempo.com.mx/noticia/120076-bomberos_viento_desprendio_lona_espectacular_zarco_ernesto_talavera_sur_chihuahua/1?fbclid=IwAR16oYDuDCe3pz-Q_DMPZsansKKXkti-EaqWbWnoZk-zJ1qi0ZBMQwpz7Ek

http://netnoticias.mx/2018-04-13-0f094b9a/causaron-rafagas-de-viento-estragos-en-juarez/?fbclid=IwAR2zBQm-R7KRJW3sfZ512uTYaBQzMNZrBVjMG23wrg6LG6TRSEQaXzaE6Ow
http://www.ntrguadalajara.com/post.php?id_nota=101384&fbclid=IwAR3w_cFsxjeYpbkPX_lTiziDWBC49iwFcGZPMg7UnL98bF0m1HtPKDB4tPI
https://www.elsoldecuernavaca.com.mx/republica/sociedad/espectaculares-incumplen-con-normas-en-el-estado-de-mexico-1624638.html
https://suracapulco.mx/2018/06/17/latente-la-amenaza-de-lluvias-acompanadas-de-actividad-electrica/
https://staging.proceso.com.mx/433108/tras-caida-espectaculares-mancera-ordena-retiro-estructuras-irregulares
https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_M%C3%A9xico
http://www.consar.gob.mx/gobmx/general/obligaciones_transparencia/ART70/Fraccion_XXVIIIB/2017/CONSAR-131-2017.pdf
https://expreso.press/2018/04/15/sabado-de-ventarrones-e-incendios/?fbclid=IwAR3j28kcSEE4x6f9bxbiYqX7UJr9hMTIYNlytEmAfnEscqLxdp941pFnsWc
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/para-2018-solo-existiran-2-mil-anuncios-publicitarios-cdmx-asegura-invea/
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2015/impreso/invea-retira-482-espectaculares-irregulares-y-suspende-192-130346.html
https://www.proceso.com.mx/505714/ahora-caen-espectaculares-vehiculos-en-la-terminal-2-del-aicm-videos
https://www.xeu.mx/nota.cfm?id=945272
https://periodicocorreo.com.mx/retiraran-seis-espectaculares-por-infringir-normativa/
http://www.capitalhidalgo.com.mx/local/cae-espectacular-de-plaza-perisur/
https://www.yucatanalamano.com/destacado/fuerte-lluvia-desquicia-cancun-se-caen-espectaculares-y-arboles/
https://www.jornada.com.mx/ultimas/2018/06/17/caida-de-espectacular-a-causa-de-carlotta-lesiona-a-cuatro-turistas-423.html
https://www.portalpolitico.tv/metropoli/anuncios-espectaculares-irregulares-caen-por-falta-de-ley-en-publicidad-exterior-a-nivel
https://www.jornada.com.mx/2018/10/14/estados/025n1est
https://www.sinembargo.mx/30-07-2018/3449933
http://www.omnia.com.mx/noticia/90786
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/8380.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/8447.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/9538.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/14728.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/27164.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/24506.html
http://hemeroteca.informador.com.mx/
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/30653.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/31690.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/26467.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/26872.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/741.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/33720.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/5008.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/34112.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/10099.html

http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/15340.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/33575.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/20213.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/37612.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/27533.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/39573.html
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/49365.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/43974.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/45684.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/71362.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/45944.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/primera/13330.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/99152.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/108100.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/48063.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/49543.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/51226.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/151445.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/52783.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/164843.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/165686.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/nacion/101613.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/51578.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/51577.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/197379.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/56423.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/205894.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/52534.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/228138.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/54005.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/273784.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/274941.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/281292.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/288249.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/294370.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/294815.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/297123.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/nacion/131079.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/59846.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/61250.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/375194.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/378409.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/388552.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/396290.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/403438.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/404228.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/405942.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/413531.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad/83232.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/415174.html

http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/417669.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/419445.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/421487.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/433269.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/438257.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/442612.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/447155.html
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/476603.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/485686.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/487237.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/491115.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/501708.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/501483.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/502064.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/505984.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/514997.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/524801.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/69803.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/70367.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/562906.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/70871.html
http://www.especialistas.com.mx/saiweb/viewer.aspx?file=c8u0JHolyPzScjDD09MU1ZzlN794BetVY9hV5IEuaI9cSM@@AXkY5YItOf3vK/7PN&opcion=0&encrip=1
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/599651.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/600325.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/601113.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/603717.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/603943.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/606115.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/614919.html
http://www.jornada.unam.mx/2009/08/05/capital/036n1cap
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/619378.html
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/73479.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/643724.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/651957.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/652041.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/652138.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/652179.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/652247.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/74418.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/74654.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/679355.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/684120.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/686598.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/689962.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/76710.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/706964.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/707505.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/709177.html

http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/77907.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/719896.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/763861.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/764679.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/773937.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/774019.html
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/83244.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/85149.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/841223.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/845264.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/861197.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/861234.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/892080.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/894988.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/notas/918698.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2013/lluvia-sonora-espectaculares-936987.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2013/puebla-arboles-rafagas-965350.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2014/impreso/cae-espectacular-sobre-una-mujer-121628.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2014/retiran-anuncio-1001841.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2014/veracruz-viento-muerte-1003496.html
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2014/impreso/caen-dos-anuncios-a-causa-del-viento-122926.html
http://www.elpuntocritico.com/noticias-metropoli/noticias-df/87022-piden-vecinos-de-coyoac%C3%A1n-sancionar-a-empresa-show-case.html
http://www.lja.mx/2014/05/operativos-de-prevencion-por-temporada-de-lluvias/
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2014/lluvias-causan-inundaciones-en-municipios-de-sonora-1021769.html
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2014/bcs-odile-afectaciones-segob-1038368.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2014/viento-vuelca-6-traileres-en-istmo-de-oaxaca-1055577.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/estados/2014/viento-espectacular-1064194.html
http://www.elpuntocritico.com/noticias-metropoli/noticias-df/108781-reportan-%C3%A1rboles-ca%C3%ADdos-por-lluvia-y-fuertes-vientos-en-el-df.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2015/clima-causo-caida-de-81-arboles-en-tres-municipios-de-edomex-1083860.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2015/lluvias-danian-dos-espectaculares-en-el-valle-de-mexico-1083649.html
http://www.elpuntocritico.com/noticias-metropoli/noticias-df/111234-lluvia,-granizo-y-fuertes-vientos-sorprenden-a-capitalinos.html
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2015/rafagas-de-viento-39tiran-39-espectacular-en-periferico-norte-1084162.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2015/cae-estructura-metalica-en-correo-mayor-no-hay-heridos-1099458.html
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2015/12/29/continua-onda-gelida-hasta-menos-17-grados-en-chihuahua#imagen-1

http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2016/01/16/ante-riesgo-retiran-espectacular-en-naucalpan
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/03/8/vientos-dejan-una-joven-lesionada-y-danos-en-tres-estados
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/03/9/en-alerta-30-municipios-de-michoacan-por-tormenta-invernal
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/03/9/caen-mas-de-50-espectaculares-en-morelia-por-vientos
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/df/2016/03/11/estos-vientos-los-mas-desastrosos-en-40-anos
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2016/03/9/video-caida-de-espectacular-deja-5-heridos-en-metepec
http://www.criteriohidalgo.com/sos/pachuca-reporta-caida-de-espectaculares-y-vidrios-por-el-vie
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2016/03/9/viento-derriba-arboles-y-postes-de-luz-en-edomex
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://agencia.cuartoscuro.com/
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2016/03/10/reportan-caida-de-agua-nieve-en-ixtapaluca-y-amecameca
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/df/2016/03/10/reportan-anuncio-danado-en-plaza-universidad
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2016/03/10/conductor-sale-ileso-tras-caer-espectacular-sobre-auto-en
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/df/2016/03/10/retiran-espectacular-danado-por-el-viento-en-tlalpan
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2016/03/10/cae-espectacular-en-la-autopista-mexico-queretaro
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2016/03/10/se-desploma-espectacular-en-san-joaquin-y-satelite-por-rafagas
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/03/10/lluvias-y-viento-intenso-afectan-44-municipios-de-oaxaca
http://www.eluniversalqueretaro.mx/metropoli/10-03-2016/225-reportes-registra-proteccion-civil-municipal
http://www.eluniversalqueretaro.mx/portada/11-03-2016/fuerte-viento-y-nevadas-causan-danos
http://www.eluniversalqueretaro.mx/portada/10-03-2016/vientos-causan-destrozos
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/03/10/guanajuato-viento-derriba-255-arboles-y-63-espectaculares
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/df/2016/03/11/cae-espectacular-en-constituyentes
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/03/13/fiscalia-indaga-muerte-por-caida-de-espectacular
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2016/05/21/lluvias-causan-inundaciones-en-3-municipios-del-edomex
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/06/3/lluvia-causa-afectaciones-en-tuxtla-gutierrez
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/cdmx/2016/07/22/cae-espectacular-en-circuito-interior-y-pirul
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/07/23/proteccion-civil-emite-alerta-de-tormenta-en-sonora

http://www.lja.mx/2016/08/provocan-lluvias-cierres-calles-vehiculos-varados-danos-en-jardin-del-encino/
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2016/09/6/newton-impacta-zona-norte-de-bcs#imagen-1
https://www.forocoatza.com/cae-anuncio-de-banamex-y-lesiona-a-dos-personas-en-coatzacoalcos/
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2017/02/17/emiten-alerta-por-vientos-fuertes-en-slp-van-10-arboles-caidos
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/cdmx/2017/02/17/van-120-arboles-caidos-tras-dos-dias-de-viento-en-la-cdmx#imagen-1
http://www.elimparcial.com/EdicionEnLinea/Notas/Sonora/18022017/1184515-Derriban-vientos-anuncio-espectacular-en-Guaymas.html
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2017/05/17/rafaga-de-viento-tira-espectacular-en-ciudad-juarez
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/edomex/2017/05/24/por-granizada-caen-cuatro-espectaculares-en-naucalpan
http://www.eluniversal.com.mx/articulo/estados/2017/06/8/lluvias-danan-escuelas-y-dejan-sin-clases-alumnos-en-oaxaca
**http://www.unomasuno.com.mx/index.php/video-cerrada-autopista-la-marquesa-lerma-por-derrumbe-de-espectacular/**
http://www.lja.mx/2017/07/novedosos-riesgos/
http://traficozmg.com/2017/07/anuncio-espectacular-cae-restaurante-comida-rapida/
http://www.unomasuno.com.mx/index.php/diluvio-en-zacatecas/
https://www.google.com.mx/maps/place/Puebla,+Pue./@19.0400339,-98.2631765,12z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x85cfc0bd5ebc7a3b:0x48a6461de494ad95!8m2!3d19.0412967!4d-98.2061996
https://www.elsoldepuebla.com.mx/local/atribuyen-a-rafagas-de-viento-la-caida-de-espectaculares-y-senaletica-en-la-capital-de-puebla
http://pueblaroja.mx/2017/08/19/video-cae-espectacular-auto-periferico/
http://www.elpopular.mx/2017/08/18/cronica-policiaca/cae-espectacular-sobre-vehiculos-en-periferico-de-puebla-167948
http://www.eluniversal.com.mx/estados/lidia-deja-4-muertos-y-4-mil-damnificados
https://ovaciones.com/causa-huracan-max-lluvias-y-derrumbes-en-guerrero/
https://www.elsoldelcentro.com.mx/sociedad/max-deja-mas-de-300-viviendas-inundadas-y-un-desaparecido-en-san-marcos
http://www.radioformula.com.mx/notas.asp?Idn=716613&idFC=2017
http://www.eluniversalqueretaro.mx/estados/19-10-2017/granizo-cubre-las-calles-de-toluca
http://www.hidrocalidodigital.com/local/articulo.php?idnota=133685
http://www.eluniversal.com.mx/buscar/anuncio%20espectacular
http://archivo.eluniversal.com.mx/edomex/2013/impreso/se-incrementan-secuestros-15-en-el-estado-de-mexico-7120.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/pls/impreso/noticia.html?id_nota=2013/erick-tormenta-guerrero-acapulco-zihuatanejo-934135&tabla=estados
http://archivo.eluniversal.com.mx/edomex/6961.html
http://archivo.eluniversal.com.mx/edomex/6873.html
http://www.milenio.com/policia/cae-espectacular-sobre-personas-y-terminan-heridas
https://www.pressreader.com/mexico/el-sol-de-san-luis-potosi/20180713/282278141101787
http://ntrzacatecas.com/2014/05/27/cae-granizada-en-aguascalientes/
http://www.aguascalientes.gob.mx/cplap/Docs/Sistema%20de%20Control%20Interno%20Institucional/2017/9.-REGLAMENTO_INTERIOR_CEPLAP.pdf
http://www.tijuana.gob.mx/reglamentos/Municipales/RM_RotulosAnunciosySimilares_TJ-BC_09062017.pdf

http://jornadabc.mx/tijuana/09-01-2018/continuaran-lluvias-hasta-el-miercoles-por-la-manana
https://www.sdpnoticias.com/local/ciudad-de-mexico/2017/09/29/habria-300-edificios-con-anuncios-publicitarios-en-azotea-en-riesgo
http://www.aztecanoticias.com.mx/anuncio-espectacular-cae-sobre-camion-en-ciudad-juarez/3281711
https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1376027.lidia-deja-cuatro-muertos-en-baja-california-sur.html
http://contraloria.bcs.gob.mx/normatecacontra/reglamento-de-anuncios-en-el-municipio-de-la-paz-2/
https://www.eluniversal.com.mx/estados/se-normaliza-actividad-turistica-en-bcs-tras-bud
http://www.cronicacampeche.com/?p=100826
http://diariobasta.com/2017/09/29/irregulares-90-espectaculares-descubren-sismos-cloaca-publicitaria/
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/CAMPECHE/Municipios/Campeche/CAMReg6.pdf
https://www.excelsior.com.mx/comunidad/2017/10/03/1192182
https://www.novedadescampeche.com.mx/estado/campeche/retiran-7-espectaculares-que-representaban-un-riesgo-a-ciudadanos/
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Publicaciones/DI2005/pdf/CO1.pdf
https://www.siglo.mx/coahuila/noticia/82199.por-vientos-fuertes-caen-varios-arboles.html
https://www.noticiasdelsoldelalaguna.com.mx/local/irregulares-52-de-los-anuncios-espectaculares
http://wap.zocalo.com.mx/new_site/articulo/clausura-municipio-80-espectaculares
http://www.iepcjalisco.org.mx/sites/default/files/licitaciones/licitacion006-2018/CONVOCATORIA%20IEPC-L-006.pdf
http://www.periodicooficial.col.gob.mx/p/21062003/sup02/23062101.PDF
http://www.gente-bien.mx/2018/10/07/lluvias-provocan-encharcamientos-y-caida-de-espectaculares-en-colima/
https://noticieros.televisa.com/videos/fuertes-lluvias-en-colima-provocan-caida-de-arboles/
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/lluvias-encharcamientos-caida-espectaculares/
https://tuxtla.gob.mx/normatividad/Reglamento_de_Anuncios_para_el_Municipio_de_Tuxtla_Gutierrez_Chiapas.pdf
https://www.elsoldemexico.com.mx/mexico/sociedad/depresion-tropical-23-e-traera-lluvias-en-zona-costera-del-pacifico-mexicano-guerrero-2165421.html
http://www.aztecanoticias.com.mx/anuncio-espectacular-cae-sobre-camion-en-ciudad-juarez/3281711
http://netnoticias.mx/2018-07-13-8ec367e2/caen-arboles-postes-espectaculares-y-una-gasolinera-por-tormenta/
http://diario.mx/Local/2018-05-02_6c2724d6/se-cae-anuncio-por-fuertes-vientos&ref=1/
http://www.tiempo.com.mx/noticia/120063-momento_cae_la_pantalla_del_puente_libre_puente_libre_proteccion_civil_ciudad_juarez_aire_en_juarez/1
http://www.tiempo.com.mx/noticia/120185-proteccion_civil_atendio_derribe_de_bardas_espectaculares_lonas_por_fuertes_vientos_chihuahua_2018/1
https://www.lapolaka.com/derrumbe-de-oem/
http://mexicowebcast.com/cae-espectacular-sobre-camion-del-vivebus/
http://elpuntero.com.mx/n/72236
https://www.relevanciachihuahua.com/single-post/2018/01/10/Cae-espectacular-por-fuertes-vientos-en-Ju%C3%A1rez
https://noticiaschihuahua.mx/2018/05/03/se-reportaron-36-incidentes-vientos-del-pasado-miercoles/
http://ordenjuridico.gob.mx/Estatal/CHIHUAHUA/Municipios/Chihuahua/1REGCHI.pdf
https://implanchihuahua.gob.mx/historico/transparencia/docs/reglamento_construcciones.pdf

https://www.ahorravueltas.com/ciudades/28/noticias/detalle/?f=02_05_2018
http://www.tiempo.com.mx/noticia/120047-incidentes_viento_fuerte_chihuahua_capital/1
http://www.tiempo.com.mx/noticia/113077-recomendaciones_fuertes_vientos_chihuahua_bomberos/1
http://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/fuertes-lluvias-derriban-al-ano-15-anuncios-publicitarios
https://www.merca20.com/cdmx-y-marcas-comerciales-como-las-afecto-la-caida-de-espectaculares/
https://www.sdpnoticias.com/local/ciudad-de-mexico/2017/10/01/cae-espectacular-en-terminal-2-del-aicm
https://www.animalpolitico.com/2018/05/tormenta-provoca-alerta-naranja-en-7-delegaciones-y-suspension-de-vuelos-en-la-cdmx/
https://reporteniveluno.mx/2018/02/22/autoridades-capitalinas-alertan-lluvia-caida-lonas/
https://www.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/reportan-dos-arboles-caidos-retiro-de-lona-y-6-anegaciones-por-lluvia
https://heraldodemexico.com.mx/cdmx/asi-se-vio-la-inundacion-al-sur-de-la-ciudad-de-mexico/
https://suracapulco.mx/2018/06/18/cuatro-lesionados-tres-de-ellos-turistas-caida-de-arboles-y-seis-viviendas-con-danos-dejo-carlota/
http://www.24-horas.mx/2018/09/12/publican-lineamientos-para-retiro-de-anuncios-en-azoteas/
https://www.la-prensa.com.mx/metropoli/297933-aguacero-y-granizada-en-el-sur-de-la-cdmx
http://puentelibre.mx/noticia/120047-incidentes_viento_fuerte_chihuahua_capital/2
https://www.economiahoy.mx/nacional-eAm-mx/noticias/9260588/07/18/Lluvias-en-CDMX-dejan-multiples-encharcamientos-y-caida-de-lona-de-un-espectacular-.html
https://www.sinembargo.mx/30-07-2018/3449933
http://elheraldoslp.com.mx/2018/03/04/llaman-a-evitar-situaciones-extraordinarias-por-anuncios-espectaculares-en-malas-condiciones/
http://www.paot.org.mx/centro/reglamentos/df/otrasdispjuridicas/anuncios.pdf
http://www.paot.org.mx/centro/reglamentos/df/pdf/2017/RGTO_LEY_PUBLICIDAD_EXTERIOR_20_01_2016.pdf
https://areopago.mx/mexico/782-tormenta-historica-causa-destrozos-en-el-pais
https://lasillarota.com/metropoli/irregulares-cinco-de-cada-10-espectaculares-en-cdmx-rentable-vendor-showcase-jc-decaux-/255769
https://www.elsiglodedurango.com.mx/noticia/952670.revisan-anuncios-espectaculares-en-gp.html
https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1447800.revisan-anuncios-espectaculares.html
https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/1447631.revisan-anuncios-espectaculares-en-gp.html
https://contactohoy.com.mx/afecta-tromba-21-colonias-de-la-capital/
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Durango/Todos%20los%20Municipios/wo67450.pdf
http://transparencia.municipiodurango.gob.mx/articulo66/II/mar/2017/364gaceta36regimagen.pdf
http://www.lerdo.gob.mx/TRANSPARENCIA2018/SECRETARIAAYTO/REGLDECONSTRUCCIONESYDESURBANOPMPIODELERDODGO2017.pdf
https://www.elsiglo.mx/galeria/3224-128916.causa-lluvia-y-granizo-estragos-en-la-laguna
https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/espectaculares-incumplen-con-normas-en-el-estado-de-mexico-1624638.html
http://zonafranca.mx/grave-conductora-por-caida-de-espectacular-en-metepec/
https://www.elmanana.com/caida-espectacular-5-heridos-metepec-cae-espectacular-lesionados/3214643
https://www.sdpnoticias.com/local/ciudad-de-mexico/2016/03/11/preparan-normas-para-regularizar-espectaculares
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/ESTADO%20DE%20MEXICO/Municipios/Tecamac/Tec%E1macReg06.pdf

http://omvradio.com/en-el-edomex-no-se-cumple-con-los-requisitos-para-la-instalacion-de-espectaculares/
http://www.zonacritica.mx/nota/19502/el-negocio-de-los-anuncios-espectaculares-se-basa-en-la-corrupcin-ong;-plantea-normas-nacionales
https://radioexpresionmexico.com/siguen-colocando-espectaculares-sin-restriccion-en-carretera-estatal.html
http://www.ieem.org.mx/cs/sie/170418edomex_prensa.pdf
https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/ley-para-espectaculares-un-abismo-incompleto-1618754.html
http://www.aztecanoticias.com.mx/cae-anuncio-espectacular/3292022
http://www.codigosnews.com/mx/viewnote.php?nota=6736
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/GUANAJUATO/Municipios/Guanajuato/GTOReg28.pdf
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/GUANAJUATO/Municipios/San%20Miguel%20Allende/SMAReg1.pdf
http://www.guanajuatocapital.gob.mx/tramite/licencia-para-anuncios-autosoportados-yo-espectaculares
http://agoragto.com/noticias/celaya/cae-agua-nieve-en-celaya/
http://www.notigape.com/161832/incendios-caidas-de-anuncios-y-arboles-saldo-por-paso-del-frente-frio-numero-44
https://www.pressreader.com/mexico/el-sol-de-durango/20180618/282325385688867
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/activan-alerta-roja-guerrero-cercania-tormenta-carlotta/
http://www.biimax.com/wp-content/uploads/2016/06/Reglamento-de-Anuncios-para-la-Zona-Metropolitana-del-Municipio-de-Acapulco-de-Ju%C3%A1rez.pdf
http://201.131.20.14/transparencia/wp-content/uploads/marcojuridico/reglamentos/ReglamentoAnuncios.pdf
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/GUERRERO/Municipios/Acapulco/2RA.pdf
https://www.pressreader.com/mexico/el-norte/20180618/281633895954199
http://www.eluniversal.com.mx/estados/carlotta-deja-danos-en-14-municipios-de-guerrero
http://www.aztecanoticias.com.mx/deja-carlotta-afectaciones-en-costas-de-guerrero/3287230
https://suracapulco.mx/2018/06/18/cuatro-lesionados-tres-de-ellos-turistas-caida-de-arboles-y-seis-viviendas-con-danos-dejo-carlota/
https://suracapulco.mx/impreso/4/ocasiona-carlota-torrenciales-lluvias-e-intensos-vientos/
https://www.youtube.com/watch?v=87gKdwrC57Q
https://www.excelsior.com.mx/nacional/carlotta-deja-cuatro-personas-heridas-en-acapulco-guerrero/1246124
http://www.elfinanciero.com.mx/nacional/activan-alerta-roja-preventiva-en-18-municipios-de-guerrero-por-carlotta
https://guerrero.quadratin.com.mx/guerrero-41-casas-inundadas-76-arboles-y-16-anuncios-caidos-por-carlotta/
https://novedadesaca.mx/tormenta-tropical-carlotta-danos/
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/tormenta-tropical-carlotta-continua-guerrero/
https://www.yucatan.com.mx/mexico/carlotta-deja-danos-guerrero-yucatan
https://www.elnorte.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?id=1421700&v=5&fuente=md&urlredirect=https://www.elnorte.com/aplicaciones/articulo/default.aspx?Id=1421700&v=5&Fuente=MD
https://www.hoylosangeles.com/efe-3652315-14297852-20180617-story.html
https://enteratede.com.mx/deja-carlotta-4-lesionados-guerrero/
http://ahoratabasco.com/nacional/32753/
https://www.reporteindigo.com/reporte/carlotta-se-encuentra-frente-a-acapulco/
https://www.24-horas.mx/2018/09/30/tormenta-tropical-sergio-causara-fuertes-lluvias-en-guerrero/

http://mexicoxport.com/carlotta-deja-danos-en-puertos-de-guerrero/
http://www.milenio.com/estados/activan-alerta-roja-en-guerrero-por-carlotta
https://www.debate.com.mx/mexico/guerrero-carlotta-danos-acapulco-costa-grande-costa-chica-20180617-0108.html
https://www.sinembargo.mx/12-06-2018/3428104
https://www.informador.mx/mexico/Carlotta-deja-danos-en-puertos-de-Guerrero-20180618-0017.html
https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?id=1421700&urlredirect=https://www.reforma.com/aplicaciones/articulo/default.aspx?id=1421700
https://expresionesguerrero.com.mx/2018/06/19/pide-pc-extremar-medidas-en-temporada-de-lluvias/
http://laprensademonclova.com/2018/06/18/carlotta-deja-danos-en-guerrero-y-yucatan/
http://www.ejecentral.com.mx/carlotta-deja-danos-en-14-municipios-de-guerrero/
https://mckenziecentrocambiario.com/noticias/activan-alerta-roja-preventiva-en-18-municipios-de-guerrero-por-carlotta/
https://www.launion.com.mx/morelos/cuautla/noticias/122875-vientos-provocan-caida-de-arboles-en-municipios-de-la-region-oriente.html
http://www.b15.com.mx/shownoti.php?id_noticia=19193
https://hbdeportes.com/2018/06/17/turistas-lesionados-y-danos-materiales-dejo-el-paso-de-carlotta-en-acapulco/
https://www.lajornadaguerrero.com.mx/index.php/sociedadyjusticia/item/4484-alerta-de-proteccion-civil-en-guerrero-de-la-formacion-de-la-tormenta-tropical-sergio
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/HIDALGO/Municipios/Pachuca/PachucaReg01.pdf
http://www.capitalhidalgo.com.mx/local/cae-espectacular-de-plaza-perisur/
http://www.eluniversal.com.mx/metropoli/cdmx/fuertes-lluvias-derriban-al-ano-15-anuncios-publicitarios
https://transparencia.guadalajara.gob.mx/sites/default/files/reglamentos/Reg.AnunciosGdl_0.pdf
https://guadalajara.gob.mx/noticias/nuevo-reglamento-de-anuncios-para-el-municipio-de-guadalajara
https://www.zapopan.gob.mx/se-aprueba-el-nuevo-reglamento-de-anuncios-y-publicidad/
https://www.notisistema.com/noticias/por-caida-de-anuncio-espectacular-seguira-abierto-un-solo-carril-en-la-carretera-a-nogales/
https://areopago.mx/mexico/782-tormenta-historica-causa-destrozos-en-el-pais
https://labrecha.me/?p=156265
http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/293-MANUALDEPROTECCINCIVIL.PDF
https://www.provincia.com.mx/v2/113-municipios/viento-tira-dos-anuncios-en-morelia/
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Michoacan/Todos%20los%20Municipios/wo51673.pdf
http://leyes.michoacan.gob.mx/destino/O12073po.pdf
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/MICHOACAN/Municipios/Morelia/1REGLAMENTO.pdf
https://www.mimorelia.com/lluvia-provoca-caida-de-estructura-metalica-en-tienda-y-encharcamientos-en-morelia/
https://www.provincia.com.mx/v2/113-municipios/viento-tira-dos-anuncios-en-morelia/
https://www.24-horas.mx/2018/09/30/tormenta-tropical-sergio-causara-fuertes-lluvias-en-guerrero/
https://hastacuando.com.mx/2018/06/17/tormenta-tropical-carlotta-continua-sobre-la-linea-de-costa-de-guerrero/
https://www.nnc.mx/articulo/Nayarit/%22beatriz%22-tocar%C3%83%C2%A1-costas-de-colima-como-hurac%C3%83%C2%A1n-la-madrugada-de-este-martes/57939
http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/reglamentos_municipales/pdf/Reg02-Zapata-08.pdf

http://www.cuernavaca.gob.mx/wp-content/uploads/2013/07/Reg-de-Anuncios-del-Municipio-de-Cuernavaca.pdf
http://www.cuernavaca.gob.mx/transparencia/documentos/juridico/004.pdf
https://www.diariodemorelos.com/noticias/revisa-pc-anuncios-espectaculares
https://www.launion.com.mx/morelos/cuautla/noticias/122875-vientos-provocan-caida-de-arboles-en-municipios-de-la-region-oriente.html
https://www.elsoldemexico.com.mx/mexico/sociedad/sigue-aqui-el-paso-del-huracan-willa-y-la-tormenta-vicente-2185272.html
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/NAYARIT/Municipios/Tepic/02Reganuncios.pdf
http://tepic.gob.mx/archivos/2018/REGLAMENTO-DE-ANUNCIOS-29-NOVIEMBRE-2018.pdf
https://legislacion.vlex.com.mx/vid/reglamento-anuncios-espectaculares-municipio-575238722
https://www.ntv.com.mx/2018/07/14/lluvia-de-50-milimetros-la-que-azoto-a-tepic-caen-arboles-y-letreros-en-la-ciudad/
https://suracapulco.mx/2018/06/17/ocasiona-carlotta-torrenciales-lluvias-e-intensos-vientos/
https://www.meteored.mx/noticias/prediccion/huracan-willa-proximo-a-impactar-entre-nayarit-y-sinaloa.html
https://plumaslibres.com.mx/2018/04/25/arboles-anuncios-caidos-deja-granizada-rio-blanco/
http://portal.monterrey.gob.mx/pdf/reglamentos/Reg_de_anuncios.pdf
https://www.linares.gob.mx/transparencia/95_01_normatividad/reglamentos/02_Reg_Anuncios.pdf
https://www.pressreader.com/mexico/peri%C3%B3dico-am-le%C3%B3n/20180826/281500752112330
http://latalachanoreste.com/2018/09/02/causa-tormenta-electrica-caos-y-destrozos-en-zona-metropolitana/
https://www.msn.com/es-mx/noticias/mexico/pese-a-tormenta-joven-hace-esqu%C3%AD-acu%C3%A1tico-en-calles-de-monterrey/ar-BBMP9W5?li=AAggXBN&%2525252525253Bocid=mailsignout
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/OAXACA/Municipios/Oaxaca/OAJReg5.pdf
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/OAXACA/Municipios/Oaxaca/OAJReg32.pdf
https://www.rioaxaca.com/2018/03/12/exhorta-proteccion-civil-atender-recomendaciones-ante-posibles-lluvias-en-la-capital/
http://www.zocalo.com.mx/reforma/detail/pega-frente-10-a-veracruz-y-oaxaca
https://noticias.canal10.tv/nota/clima/tormenta-tropical-carlotta-pone-en-alerta-roja-a-18-municipios-de-guerrero-2018-06-17
https://www.meteored.mx/noticias/prediccion/frente-frio-no-8-y-sus-efectos-sobre-mexico.html
http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/293-MANUALDEPROTECCINCIVIL.PDF
http://www.municipiodeoaxaca.gob.mx/municipio-de-oaxaca/prensa/reporta-proteccion-civil-danos-por-lluvia-en-la-capital-oaxaquena
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/fuertes-vientos-provocan-caida-postes-y-espectaculares-juchitan-oaxaca/
https://www.jornada.com.mx/ultimas/2018/06/17/caida-de-espectacular-a-causa-de-carlotta-lesiona-a-cuatro-turistas-423.html
https://www.jornada.com.mx/2018/10/14/estados/025n1est
https://www.pressreader.com/mexico/el-mundo-de-tecamachalco/20180618/281638190921306
https://www.nssoaxaca.com/2018/01/15/fuertes-vientos-provocan-caida-de-postes-y-espectaculares-en-juchitan/
http://pueblaonline.com.mx/2017/portal/movil/index.php/ciudad/item/62811-fuertes-rachas-de-viento-destrozan-anuncios-espectaculares-en-puebla#.W_SWnzhKjIU
http://www.e-consulta.com/nota/2016-03-10/medio-ambiente/cayeron-28-arboles-y-7-anuncios-espectaculares-en-el-municipio-puebla

http://www.e-consulta.com/nota/2016-03-10/medio-ambiente/cayeron-28-arboles-y-7-anuncios-espectaculares-en-el-municipio-puebla
http://ojp.puebla.gob.mx/index.php/zoo-items-landing/item/reglamento-de-anuncios-y-espectaculares-del-municipio-de-tlatlauquitepec-puebla
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Puebla/wo105782.pdf
http://retodiario.com/noticia/GOBIERNO/Lluvia-y-vientos-azotan-Puebla-reportan-choques-y-anuncios-caidos/88037.html
http://movil.sexenio.mx/aplicaciones/articulo/default.aspx?Id=21413
http://exclusivaspuebla.com.mx/atiende-bomberos-caida-de-espectaculares-y-lonas/
http://www.e-consulta.com/nota/2016-03-10/medio-ambiente/cayeron-28-arboles-y-7-anuncios-espectaculares-en-el-municipio-puebla
http://pueblaonline.com.mx/2017/portal/movil/index.php/ciudad/item/62811-fuertes-rachas-de-viento-destrozan-anuncios-espectaculares-en-puebla#.XA7m5FVKjIU
http://www.sexenio.com.mx/aplicaciones/articulo/default.aspx?Id=21413
https://www.elpopular.mx/2018/01/30/local/ventarrones-i-sacuden-i-a-puebla-175536
http://ordenjuridico.gob.mx/Estatal/QUERETARO/Municipios/Queretaro/QURReg2.pdf
https://www.diariodequeretaro.com.mx/republica/sociedad/espectaculares-incumplen-con-normas-en-el-estado-de-mexico-1624638.html
https://www.pressreader.com/mexico/diario-de-quer%C3%A9taro/20180419/281784219688532
https://amqueretaro.com/queretaro/2016/03/10/continuara-lluvia-en-el-estado-de-queretaro
http://www.smie.org.mx/layout/reglamentos-construccion/queretaro-reglamento-construccion-estatal-queretaro-1988.pdf
http://cancun.gob.mx/transparencia/files/2011/12/55-Reg_Anuncios-y-Publicidad.pdf
https://sipse.com/novedades/retiran-anuncios-espectaculares-cancun-irregulares-via-publica-315054.html
https://quintanaroo.quadratin.com.mx/se-desploma-anuncio-espectacular-en-cancun-por-fuertes-vientos/
https://www.yucatanalamano.com/destacado/fuerte-lluvia-desquicia-cancun-se-caen-espectaculares-y-arboles/
https://noticaribe.com.mx/2018/04/15/fuerte-lluvia-derriba-espectaculares-y-arboles-para-terminar-desquiciando-o-impidiendo-la-circulacion-en-multiples-zonas-de-cancun/
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/frente-frio-provoca-lluvia-yucatan-quintana-roo/
http://tribunacampeche.com/opinion/2018/11/17/realidad-y-ficcion/
http://www.milenio.com/politica/radiografia-electoral-de-quintana-roo/page/72
https://www.efe.com/efe/america/mexico/tormenta-carlotta-deja-cuatro-lesionados-e-inundaciones-en-el-sur-de-mexico/50000545-3652315
https://issuu.com/encambiodiario/docs/edicion_304
https://noticaribe.com.mx/2018/04/15/fuerte-lluvia-derriba-espectaculares-y-arboles-para-terminar-desquiciando-o-impidiendo-la-circulacion-en-multiples-zonas-de-cancun/
http://planoinformativo.com/29139/vientos-provocaron-caos-en-la-ciudad-slp
http://sanluis.gob.mx/wp-content/uploads/2017/06/REGLAMENTO-DE-ANUNCIOS-DEL-MUNICIPIO-DE-SAN-LUIS-POTOSI.pdf
http://sanluis.gob.mx/wp-content/uploads/2015/05/COM-AN-02-03-06-98.pdf
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/SAN%20LUIS%20POTOSI/Municipios/San%20Luis%20Potosi/SLMPReg5.pdf
http://sanluis.gob.mx/wp-content/uploads/2017/06/REGLAMENTO-DE-ESPECTACULOS-PUBLICOS-DEL-MUNICIPIO-DE-SAN-LUIS-POTOSI.pdf
http://elheraldoslp.com.mx/2018/03/04/llaman-a-evitar-situaciones-extraordinarias-por-anuncios-espectaculares-en-malas-condiciones/
https://periodicomomento.com/noticias/san-luis-potosi/zona-centro/retiran-3-anuncios-espectaculares-en-sgs

http://sanluis.eluniversal.com.mx/metropoli/21-02-2018/ante-rachas-de-vientos-revisaran-espectaculares-en-slp
http://sanluis.eluniversal.com.mx/metropoli/04-03-2018/autoridades-deben-realizar-verificaciones-estructuras-y-espectaculares
http://sanluis.gob.mx/fortalecen-medidas-preventivas-en-anuncios-espectaculares/
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Sinaloa/Todos%20los%20Municipios/wo69708.pdf
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Sinaloa/Todos%20los%20Municipios/wo69719.pdf
http://www.transparenciasinaloa.gob.mx/images/stories/SDS/02%20Marco%20Juridico/Otras%20Disposiciones/CLN-14.-REglamento_de_Construccion_Culiacan.pdf
https://vivalanoticia.com/espectaculares-y-luminarias-caidas-asi-como-carros-varados-dejo-la-lluvia-y-el-fuerte-viento-esta-tarde-en-culiacan/
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/sinaloa-emeregencia-paso-huracan-willa/
https://www.elmanana.com/suspenden-clases-tormenta-sinaloa-lluvias-proteccion-civil-tormentas/4598994
https://www.luznoticias.mx/sinaloa/lluvias-en-culiacan-dejan-inundaciones-y-afectaciones-en-mas-de-60-viviendas/49769
https://www.luznoticias.mx/sinaloa/van-23-espectaculares-retirados-en-culiacan/7924
http://vivavoz.com.mx/voz-urbana-menu/45201-aumenta-la-posibilidad-de-caida-de-espectaculares-en-temporada-de-lluvias.html
https://www.reporteindigo.com/reporte/inundaciones-lluvia-en-la-capital/
http://www.nnc.mx/articulo/Sinaloa/danan-vientos-a-mazatlan/60599
http://www.gente-bien.mx/2018/10/24/sinaloa-se-mantiene-en-emergencia-por-paso-de-willa/
https://riodoce.mx/noticias/deja-willa-danos-en-el-hospital-apagones-e-inundaciones-en-escuinapa
http://compilacion.ordenjuridico.gob.mx/obtenerdoc.php?path=/Documentos/ESTADO/SONORA/TODOS%20LOS%20MUNICIPIOS/o668314.doc&nombreclave=o668314.doc
http://compilacion.ordenjuridico.gob.mx/obtenerdoc.php?path=/Documentos/ESTADO/SONORA/TODOS%20LOS%20MUNICIPIOS/o621927.doc&nombreclave=o621927.doc
https://www.jornada.com.mx/2018/10/14/estados/025n1est
https://www.uniradionoticias.com/noticias/cdobregon/533678/Arboles-y-espectaculares-caidos-fue-el-saldo-de-la-lluvia-de-ayer.html
http://diariodelyaqui.mx/caen-pantallas-por-los-vientos/
https://entrepalabras.mx/2018/06/15/deja-lluvias-bud-lluvias-y-caos-de-mazatlan-a-navojoa-sonora/
http://www.ordenjuridico.gob.mx/fichaOrdenamiento.php?idArchivo=26568&ambito=
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/TABASCO/Municipios/Centro/CENREG01.pdf
http://poarchivo.tamaulipas.gob.mx/reglamentos/Regla_Municipales/105_Reynosa_Anuncios.pdf
http://po.tamaulipas.gob.mx/reglamentos-municipales/
http://po.tamaulipas.gob.mx/wp-content/uploads/2017/06/010_Laredo_Anuncios.pdf
https://www.gaceta.mx/2018/01/fuertes-vientos-provocan-situaciones-de-riesgo-en-la-capital-de-tamaulipas/
http://laestrelladelanoticia.com/2018/04/14/tres-lesionados-al-caer-espectacular-de-empresa-de-autobuses-foraneos-vientos-desastrosos-en-la-zona-sur-de-tamaulipas/
http://www.notigape.com/161748/serios-danos-e-incendios-genera-fuerte-norte-en-el-sur-de-tamaulipas
http://www.aquitamaulipas.com/2018/11/26/danos-menores-en-tampico/
https://www.horacero.com.mx/reynosa/alerta-por-fuertes-vientos-en-reynosa-y-la-region/
http://reportenoreste.com/2018/04/15/caos-por-fuerte-norte-en-la-zona-sur-de-tamaulipas/
https://muropolitico.mx/2018/10/08/derrumba-granizo-arboles-del-17/
http://laredmultimedia.com/cae-lluvia-y-granizo-en-ciudad-victoria/

http://www.capitaltlaxcala.gob.mx/wp-content/uploads/2014/03/Reglamento-de-anuncios-Tlaxcala.pdf
https://www.animalpolitico.com/2016/03/clima-cdmx-vientos-derriban-230-arboles/
https://formato7.com/2018/11/13/caida-de-arboles-postes-y-espectaculares-deja-frente-frio-10-en-coatzacoalcos/
http://www.e-veracruz.mx/nota/2018-01-12/estado/norte-deja-arboles-y-espectaculares-caidos-en-veracruz
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/VERACRUZ/Municipios/Veracruz/01reg.pdf
http://ahoratabasco.com/nacional/17033/
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/VERACRUZ/Municipios/Veracruz/01reg.pdf
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/frente-frio-44-provoca-caida-arboles-veracruz-hay-lesionado/
https://www.imagendeveracruz.mx/noticia/tormenta-electrica-y-surada-ocasionan-caida-de-arboles-8847
https://www.xeu.mx/nota.cfm?id=945272
https://www.eldictamen.mx/2018/11/boca-ver/una-persona-lesionada-y-89-atenciones-reporta-pc-de-veracruz/
https://www.alcalorpolitico.com/informacion/arboles-luminarias-y-espectaculares-caidos-saldo-del-norte-en-veracruz-puerto-275019.html#.XC6SjVVKjIU
https://plumaslibres.com.mx/2018/11/13/caida-arboles-luminarias-casas-destechadas-los-vientos-111-k-h-puerto-veracruz/
https://azdiario.mx/2018/11/14/miles-sin-electricidad-arboles-y-luminarias-caidas-por-rachas-de-viento/
https://www.parabolica.mx/2018/nacional/item/13452-suspenden-clases-en-municipios-costeros-de-veracruz
https://www.aviveracruz.com/arboles-luminarias-y-espectaculares-caidos-saldo-del-norte-en-veracruz-puerto/
http://elheraldodeveracruz.com.mx/estado/cd-veracruz/56371-rescatan-a-seis-de-la-playa-en-boca.html
https://www.diariodexalapa.com.mx/local/arboles-caidos-semaforos-afectados-saldo-frente-frio-en-xalapa-veracruz-puerto-lluvia-proteccion-civil-tormentas-2660247.html
http://binoticias.com/nota.cfm?id=30097&t=cae-sobre-personas-y-carros-estructura-de-la-farmacia-benavides
http://www.infoveracruz.com.mx/2018/11/reportan-12-arboles-caidos-en-veracruz/
http://codigoveracruz.com/resumen.php?id=36625
http://imagendelgolfo.mx/noticiasveracruz/c-irdoba-orizaba-centro/41222562/repentina-tormenta-deja-diversas-afectaciones-en-r-o-blanco.html
https://www.yucatan.com.mx/mexico/carlotta-deja-danos-guerrero-yucatan
https://www.yucatan.com.mx/merida/afectaciones-en-varias-colonias-por-fuerte-lluvia
https://noticaribe.com.mx/2018/07/10/deja-turbonada-arboles-y-espectaculares-caidos-y-cortes-de-energia-electrica-en-colonias-de-merida/
https://legislacion.vlex.com.mx/vid/reglamento-anuncios-imagen-publicitaria-575268526
https://depesoyucatan.com/policia/tragica-caida-de-espectacular/
https://sipse.com/milenio/frente-frio-entra-yucatan-merida-316285.html
http://grilloporteno.com/2018/06/13/cae-un-espectacular-por-el-fuerte-viento-en-la-carretera-merida-progreso/
https://www.yucatanalamano.com/destacado/fuerte-lluvia-desquicia-cancun-se-caen-espectaculares-y-arboles/
http://laprensademonclova.com/2018/06/18/carlotta-deja-danos-en-guerrero-y-yucatan/
http://www.elsur.mx/postes-cables-techos-letreros-sucumbieron-ante-fuertes-vientos/
http://www.ordenjuridico.gob.mx/Estatal/ZACATECAS/Municipios/Zacatecas/15Regzac.pdf

https://www.imagenzac.com.mx/nota/157598-Fuertes-vientos-ocasionan-la-ca%C3%ADda-de-u
https://contactohoy.com.mx/fiesta-guadalupana-pasada-por-nubes-sol-lluvia-viento-y-hasta-agua-nieve/
https://www.meteored.mx/noticias/prediccion/huracan-willa-gran-amenaza-para-el-occidente-de-mexico.html
http://www.ejecentral.com.mx/aumentan-a-4-los-muertos-por-clima/
https://www.portalpolitico.tv/metropoli/anuncios-espectaculares-irregulares-caen-por-falta-de-ley-en-publicidad-exterior-a-nivel
https://www.sinembargo.mx/30-07-2018/3449933
http://diariobasta.com/2018/07/10/tiran-viento-y-lluvia-20-espectaculares/?fbclid=IwAR0SJUQLpevee1-Jtiayvpij_zK-Jv0xrS_qXN0VcwJhPBfKveC8A7PWHgc
https://www.elsoldetoluca.com.mx/local/ley-para-espectaculares-un-abismo-incompleto-1618754.html
https://smn.cna.gob.mx/es/
http://www.aguascalientes.gob.mx/
http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/index.jsp
http://www.bcs.gob.mx/
https://www.campeche.gob.mx/
http://www.chiapas.gob.mx/
https://www.ecured.cu/Estado_de_Chiapas_(M%C3%A9xico)#Geograf.C3.ADa
https://es.wikipedia.org/wiki/Chihuahua
https://es.wikipedia.org/wiki/Ciudad_de_M%C3%A9xico#Clima_y_medio_ambiente
https://es.wikipedia.org/wiki/Coahuila_de_Zaragoza
http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM06colima/mediofisico.html
https://es.wikipedia.org/wiki/Durango
https://es.wikipedia.org/wiki/Estado_de_M%C3%A9xico
https://es.wikipedia.org/wiki/Guanajuato
https://es.wikipedia.org/wiki/Estado_de_Guerrero
https://es.wikipedia.org/wiki/Estado_de_Hidalgo
https://es.wikipedia.org/wiki/Jalisco
https://www.ecured.cu/Estado_de_Michoac%C3%A1n_(M%C3%A9xico)#Geograf.C3.ADa
https://es.wikipedia.org/wiki/Morelos
https://es.wikipedia.org/wiki/Nayarit
https://es.wikipedia.org/wiki/Nuevo_Le%C3%B3n
https://indivoaxaca.wordpress.com/2012/10/15/extension-territorial/
https://es.wikipedia.org/wiki/Puebla
https://es.wikipedia.org/wiki/Quer%C3%A9taro
http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM23quintanaroo/mediofisico.html
https://es.wikipedia.org/wiki/San_Luis_Potos%C3%AD#Territorio
https://es.wikipedia.org/wiki/Sinaloa
https://es.wikipedia.org/wiki/Sonora
https://es.wikipedia.org/wiki/Tabasco
https://www.ecured.cu/Estado_de_Tamaulipas_(M%C3%A9xico)
https://es.wikipedia.org/wiki/Tlaxcala
https://www.ecured.cu/Estado_de_Veracruz_(M%C3%A9xico)
http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/default.aspx?tema=me
https://smn.cna.gob.mx/es/ciclones-tropicales/informacion-historica
https://www.liderempresarial.com/fuerte-tormenta-azoto-aguascalientes/
https://newsweekespanol.com/2019/08/arboles-caidos-y-el-derrumbe-de-una-barda-deja-lluvia-en-aguascalientes/

https://www.animalpolitico.com/2016/03/clima-cdmx-vientos-derriban-230-arboles/
https://www.la-prensa.com.mx/republica/tromba-en-aguascalientes-deja-cuantiosos-danos-materiales-3899758.html
https://www.informativo18.com/local/saldo-de-afectaciones-por-la-lluvia-de-este-viernes/
https://www.heraldo.mx/sigue-el-recunto-de-danos-por-la-tormenta-del-sabado/
https://www.heraldo.mx/danos-en-diversas-zonas-por-lluvia/
https://www.heraldo.mx/tira-el-viento-un-espectacular/
https://www.bcreporteros.com/principales/sedena-implenta-plan-dn-iii-e-reportan-59-incidentes-por-lluviabaja-intensidad-el-jueves-en-la-noche/
https://tribunacampeche.com/local/2019/01/28/caos-por-frente-frio/
https://tribunacampeche.com/local/2019/12/19/deja-destrozos-frente-frio-23/
https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?__rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/deja-tormenta-danos-en-torreon/ar1692202?referer=--7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a--
https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2019/veinte-minutos-de-lluvia-dejan-graves-afectaciones.html?from=old
https://www.eluniversal.com.mx/estados/lluvias-provocan-encharcamientos-y-caida-de-arboles-y-anuncios-espectaculares-en-chiapas
http://www.tiempo.com.mx/noticia/vientos_chihuahua_22_de_febrero_caida_de_arboles_postes_espectaculares_policia_municipal_bomberos/
https://www.tvazteca.com/aztecanoticias/vientos-incendios-chihuahua-mau
https://www.eldiariodechihuahua.mx/local/reportan-30-incidentes-por-fuertes-vientos-de-ayer-20190313-1489402
https://www.vozenred.com.mx/2015/notas.php?i=227178
https://diario.mx/juarez/supervisaran-retiro-de-espectaculares-caidos-o-en-riesgo-de-colapsar-20190411-1501651
https://www.eldiariodechihuahua.mx/local/video-hay-al-menos-dos-espectaculares-mas-a-punto-de-caer-20220527-1935261.html
https://dimensionturistica.com/index.php/3645-la-caida-de-los-anuncios-espectaculares-hace-evidente-la-falta-de-regulacion-federal-y-local-en-materia-de-publicidad-exterior
https://mvsnoticias.com/nacional/cdmx/2019/5/16/lluvia-vientos-dejan-arboles-espectaculares-caidos-asi-como-encharcamientos-en-cdmx-409069.html
https://www.elheraldodechihuahua.com.mx/policiaca/le-cae-anuncio-espectacular-mientras-conducia-3657587.html
https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?__rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/cuestiona-apex-anuncios-de-periferico/ar1719841?referer=--7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a--
https://www.vanguardiaveracruz.mx/espectacular-caido-en-iztapalapa-no-tenia-permisos/
https://www.24-horas.mx/2019/05/15/se-registra-caida-de-anuncio-espectacular-en-canal-de-miramontes-video/
https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2019/tormenta-deja-afectaciones-en-gomez-palacio.html
https://suracapulco.mx/danos-en-calles-colonias-y-cortes-de-luz-deja-narda-en-acapulco-hoy-seguiran-las-lluvias/
https://www.elsoldeacapulco.com.mx/local/estado/se-registraron-14-viviendas-afectadas-por-las-lluvias-en-tecpan-de-galeana-pc-3987970.html
https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?__rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/detallan-saldo-por-narda/ar1780169?referer=--7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a--
https://www.elsoldechilpancingo.mx/2019/08/21/arboles-y-postes-caidos-e-inundaciones-dejo-tormenta-en-acapulco/

https://www.laplazadiario.com.mx/politica/atiende-gobierno-de-acapulco-afectaciones-por-lluvias/
https://guerrero.quadratin.com.mx/arboles-caidos-y-conato-de-incendio-tras-fuertes-lluvias-en-zihuatanejo/
https://archivo.udgtv.com/noticias/hubo-casas-inundadas-arboles-caidos-autos-danados-lluvia-lunes/
https://www.eloccidental.com.mx/local/indigente-que-fallecio-con-la-lluvia-pudo-ingresar-por-otro-lado-a-alcantarillas-de-hidalgo-3876187.html
https://noticiasgdl.com/2019/09/27/la-lluvia-de-ayer-dejo-al-menos-14-arboles-caidos-y-10-vehiculos/
https://www.quadratin.com.mx/principal/suman-10-arboles-un-espectacular-y-un-poste-de-cfe-caidos-por-tormenta/
https://www.changoonga.com/2019/05/31/morelia-espectaculares-caidos-por-fuerte-lluvia-14-de-15-eran-irregulares/
https://conurbados.com/2019/05/01/mas-de-20-arboles-espectaculares-y-cables-colapsaron-con-vientos-en-varios-municipios-de-morelos/
https://quintanaroo.quadratin.com.mx/inestabilidad-provoca-caida-de-arboles-en-playa-del-carmen/
https://www.frontalnoticias.com/san-luis-potosi/arboles-y-espectaculares-caidos-fue-el-saldo-de-la-fuerte-tormenta-en-la-huasteca/
https://www.debate.com.mx/losmochis/Tromba-deja-arboles-y-postes-caidos-y-sin-luz-varios-sectores-20190829-0022.html
https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?__rval=1&urlredirect=/afectan-lluvias-a-4-municipios-de-sonora/ar1730623
https://noticiasenlamira.com/estados/tormenta-hermosillo-arboles-espectaculares-caidos/
https://el5to-poder.com/2019/04/09/reporta-proteccion-civil-especulares-danados-por-tormenta-de-arena/
https://www.elheraldodetabasco.com.mx/local/dejan-lluvias-arboles-postes-y-espectaculares-caidos-4332042.html
https://www.xevt.com/tabasco/controlan-incendio-y-destruyen-arbol-caido-durante-las-lluvia-de-anoche-en-el-velodromo-de-la-ciudad-deportiva/110411
https://www.sinreservas.mx/lluvias-provocan-afectaciones-pronostican-otro-frente-frio-para-el-23-de-diciembre/
https://www.notigape.com/fuertes-rafagas-de-viento-derriban-espectacular-de-cinepolis/183242
https://www.milenio.com/politica/comunidad/frente-frio-12-norte-deja-caida-arboles-anuncios
https://www.horizontedigital.com.mx/van-12-arboles-y-dos-espectaculares-caidos-por-fuertes-lluvias-en-xalapa-veracruz/
https://espejodelpoder.com/2019/11/01/afectaciones-en-40-municipios-veracruzanos-por-el-paso-del-frente-frio-numero-8/
https://www.lajornadamaya.mx/yucatan/134348/frente-frio-deja-afectaciones-en-la-costa-en-la-capital-se-suspende-el-merida-fest
https://www.elsoldelcentro.com.mx/local/fuertes-danos-arroja-tromba-3896914.html
https://cadenanoticias.com/regional/2020/02/apagones-y-danos-por-viento-en-tijuana
https://www.noticiasdelsoldelalaguna.com.mx/local/torreon/fuertes-vientos-derriban-anuncios-publicitarios-arboles-y-senalamientos-4795698.html
https://www.diariodemexico.com/mi-nacion/anuncios-y-arboles-caidos-deja-primer-tolvanera-del-ano-en-torreon
https://superchannel12.com/407419/Ventarr%C3%B3n%20da%C3%B1a%20autos,%20%C3%A1rboles%20y%20provoca%20apagones%20en%20Acu%C3%B1a
http://www.noticierosgrem.com.mx/postes-y-arboles-caidos-deja-lluvia-en-torreon/
https://www.codigoqro.mx/2020/06/24/sorprendente-tolvanera-se-reporta-en-torreon-no-tiene-relacion-con-polvos-del-sahara/

https://www.adcolima.com/2020/08/16/55-arboles-caidos-y-afectaciones-en-cableado-electrico-saldo-de-lluvia-pc-estatal/
https://www.tribuna.com.mx/espectaculos/2020/8/11/video-tormenta-elida-causa-grandes-inundaciones-afectaciones-en-el-estado-de-colima-193004.html
https://www.omnia.com.mx/noticia/176498/espectaculares-bardas-y-arboles-caidos-saldo-de-los-vientos
https://www.chilango.com/noticias/lluvia-14-agosto/
https://mexico.quadratin.com.mx/ano-2020-inicia-con-fuertes-vientos-en-cdmx-caen-anuncio-espectacular-y-5-arboles-en-alcaldia-coyoacan-benito-juarez-e-iztapalapa/
https://contextodedurango.com.mx/noticias/tolvaneras-sorprenden-a-la-capital-y-laguna-de-durango/
https://noticiasdequeretaro.com.mx/2020/01/03/tira-aire-166-arboles-espectacular-y-poste-en-estado-de-mexico/
http://norestegto.com/hasta-el-momento-en-reporte-preliminar/
https://www.elsoldehidalgo.com.mx/policiaca/caida-de-arboles-y-espectaculares-por-viento-5170501.html
https://www.ntrguadalajara.com/post.php?id_nota=150610
https://quintanaroo.quadratin.com.mx/paracho-afectadas-50-casas-y-40-arboles-caidos-por-rafagas-de-viento/
https://www.jornada.com.mx/ultimas/estados/2020/06/10/tromba-en-morelia-causa-inundaciones-tira-arboles-y-espectaculares-7920.html
https://www.guillermocinta.com/noticias-morelos/danos-menores-atendio-pc-cuernavaca-ante-fuertes-vientos-de-las-ultimas-48-horas/
https://www.diariodemexico.com/mi-nacion/fuertes-vientos-dejan-estragos-al-oriente-de-monterrey
https://www.fotografiandomexico.com/noticias/2104-hanna-deja-gran-inundacion-en-nuevo-leon-y-tambien-desaparecidos
https://www.24-horas.mx/2020/01/03/ventarrones-activan-alerta-en-ocho-estados-del-pais/
https://www.palcoquintanarroense.com.mx/noticias-de-quintana-roo/cancun/continuan-cayendo-arboles-y-espectaculares-debido-a-las-lluvias-en-cancun/
https://sipse.com/novedades/cancun-delta-destruye-infraestructura-de-servicios-en-el-norte-de-quintana-roo-380815.html
https://ruptura360.mx/lado-b/live-blog-saldo-blanco-en-quintana-roo-tras-paso-de-huracan-zeta/
https://www.notired.info/?p=15203
https://noticieros.televisa.com/ultimas-noticias/viento-mexico-rafagas-se-debe-corriente-chorro-conagua/
https://closeup.mx/estado/s-l-p/seguiran-fuertes-vientos-en-san-luis-potosi-pcm/
https://elhormiguero.com.mx/2020/04/27/tormenta-azota-a-la-huasteca-potosina/
https://potosinoticias.com/2020/01/02/rachas-de-viento-azotan-la-ciudad-caen-arboles-cables-electricos-y-anuncios/
https://www.elsoldehermosillo.com.mx/local/colonias-sahuaro-y-pueblitos-las-mas-afectadas-por-lluvia-del-viernes-5522628.html
https://www.elimparcial.com/sonora/sonora/Por-fin-llueve-en-Navojoa-y-causa-danos-espectaculares-caen-y-trampolin-se-vuela-20200826-0030.html
https://sonoralifemagazine.com/en-hermosillo/10983
https://noticiasdetampico.mx/ff-41-provoca-en-madero-la-caida-de-arboles-cables-postes-de-alumbrado-y-una-barda/
https://www.despertardetamaulipas.com/sitio/?q=node/100432
https://cntamaulipas.mx/2020/09/30/espectacular-caido-en-altamira-es-de-plaza-comercial-aclara-farmacias-benavides/
https://www.hoytamaulipas.net/notas/441901/Fuertes-vientos-derriban-anuncio-espectacular-en-Reynosa.html

https://imagendeveracruz.mx/estado/fuertes-vientos-dejan-arboles-caidos-en-capital-de-veracruz/50063921
https://es-us.noticias.yahoo.com/ca%C3%ADda-%C3%A1rboles-espectaculares-postes-deja-145035380.html
https://eltiempomonclova.mx/noticia/2021/las-lluvias-en-monclova-continuaran-el-fin-de-semana.html
https://diariodecolima.com/noticias/detalle/2021-06-20-deja-tormenta-tropical-dolores--116-rboles-cados-derrumbes-y-daos-a-la-agricultura
https://www.colimanoticias.com/espectaculares-arboles-y-postes-de-energia-electrica-caidos-primeros-embates-del-huracan-nora-en-manzanillo/
https://www.eldiariodechihuahua.mx/local/arboles-bardas-y-espectaculares-caidos-ayer-por-el-viento-20210314-1772563.html
https://www.vozenred.com/2015/notas.php?i=278790
https://laopcion.com.mx/policial/ve-aqui-los-eventos-provocados-por-los-fuertes-vientos-20210427-325430.html
https://segundoasegundo.com/lluvia-deja-espectaculares-caidos-y-casas-inundadas-bomberos-atienden-las-emergencias/
https://www.elheraldodejuarez.com.mx/local/juarez/fuertes-vientos-causan-estragos-en-la-ciudad-juarez-7594118.html
http://www.noticierosgrem.com.mx/caida-de-arboles-y-encharcamientos-deja-lluvia-y-granizo-en-gomez-palacio-y-lerdo/
https://www.elsoldetoluca.com.mx/policiaca/se-desploma-espectacular-en-periferico-norte-dentro-de-un-sams-en-tlalnepantla-6355831.html
https://www.digitalmex.mx/seguridad/story/28138/atencion-se-desploma-espectacular-en-paseo-tollocan-toluca
https://www.elsoldeirapuato.com.mx/policiaca/deja-tromba-arboles-caidos-colonias-sin-luz-y-encharcamientos-en-la-ciudad-7030137.html
https://www.am.com.mx/guanajuato/noticias/Clima-Leon-Tromba-provoca-caida-de-arboles-bardas-y-cables-20210812-0043.html
https://mexico.quadratin.com.mx/asi-son-los-danos-del-huracan-rick-en-zihuatanejo/
https://jalisco.quadratin.com.mx/principal/provoca-lluvia-caida-de-mas-de-40-arboles-en-zapopan/
https://www.elsoldemorelia.com.mx/local/municipios/uruapan-habilita-3-albergues-por-huracan-rick-7388168.html
https://www.milenio.com/politica/comunidad/reportan-lluvias-en-el-area-metropolitana-de-monterrey
https://www.diariomarca.com.mx/2021/08/fuerte-lluvia-derriba-arboles-en-la-capital/
http://www.setnoticias.mx/municipios-sin-energia-electrica-caida-de-arboles-techos-de-lamina-danados-y-caminos-bloqueados-estas-son-las-primeras-afectaciones-de-grace-en-puebla/
https://noticiasdequeretaro.com.mx/2021/08/02/afectaciones-por-tromba-en-san-juan-del-rio/
https://riodoce.mx/2021/07/21/dejan-lluvias-danos-leves-y-el-desborde-de-un-arroyo-en-culiacan-video/
https://lineadirectaportal.com/sinaloa/norte/2021/7/29/arboles-espectaculares-caidos-tras-paso-de-tormenta-en-los-mochis-421608.html
https://www.debate.com.mx/mazatlan/Fotos-y-videos.-Asi-luce-Mazatlan-Sinaloa-tras-los-estragos-que-deja-el-huracan-Pamela-20211013-0064.html
https://proyectopuente.com.mx/2021/08/05/danos-a-grandes-estructuras-derribo-de-anuncios-y-acumulacion-de-basura-reportan-en-hermosillo-como-estragos-de-lluvia-y-fuertes-vientos/
https://www.elimparcial.com/sonora/hermosillo/Si-era-para-que-hubieramos-muerto-Vecina-de-departamentos-derrumbados-por-un-espectacular-en-Hermosillo-20210806-0051.html
https://telemax.com.mx/nota.php?id=11091
http://reportenoreste.com/2021/05/18/tormenta-severa-deja-cuantiosos-danos-en-nuevo-laredo/

https://www.cydnoticias.mx/2021/08/24/los-danos-que-dejo-grace-en-veracruz-son-enormes-y-la-ayuda-no-llega/
https://yucatanahora.mx/bardas-ramas-y-arboles-caidos-saldo-de-la-lluvia-de-la-ciruela-en-merida-y-la-zona-metropolitana/
https://www.lajornadamaya.mx/yucatan/178561/el-paso-de-grace-por-los-heroes
https://tiempoags.com/realiza-municipio-de-aguascalientes-recorrido-por-zonas-afectadas-por-la-lluvia-de-este-martes/
https://www.milenio.com/estados/en-torreon-afectaciones-por-lluvia-y-tolvaneras
https://eltiempomonclova.mx/noticia/2022/lluvias-provocan-encharcamientos-y-caida-de-anuncios-en-chiapas.html
https://www.unotv.com/estados/chihuahua/chihuahua-anuncio-espectacular-es-derribado-por-vientos-y-casi-aplasta-a-hombre/
https://www.unotv.com/estados/chihuahua/en-chihuahua-fuerte-viento-tira-espectaculares-arboles-y-postes/
https://www.chihuahua.gob.mx/prensa/proteccion-civil-estatal-da-conocer-reporte-de-incidentes-por-fuentes-vientos
https://devenir.devenir.com.mx/dejan-vientos-fuertes-danos-materiales-en-distintas-regiones-del-estado/
https://porlalibre.com.mx/mini-tornado-derriba-postes-cableado-y-un-espectacular/
https://municipiospuebla.mx/nota/2022-05-22/naci%C3%B3n/video-reportan-m%C3%A1s-de-50-%C3%A1rboles-ca%C3%ADdos-anuncios-lonas-en-la-cdmx
https://oaxaca.eluniversal.com.mx/sociedad/video-pareja-se-salva-de-ser-aplastada-por-un-arbol-tras-fuertes-vientos
https://www.elsoldedurango.com.mx/policiaca/fuertes-rachas-de-viento-derriban-arboles-y-anuncios-en-durango-7873652.html
https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2022/lluvias-provocan-caida-de-arboles-y-encharcamientos-en-la-laguna-de-durango.html
https://www.trespm.mx/edomex/espectaculares-y-postes-caidos-dejaron-las-fuertes-rafagas-de-viento-en-toluca
https://expreso.press/2022/01/02/vientos-derriban-dos-espectaculares-sobre-la-avenida-de-la-industria-en-altamira/
https://eldiariodecoahuila.com.mx/2022/03/21/vientos-de-hasta-80-km-h-provocan-caida-de-espectacular-en-matamoros/
https://xeu.mx/estado-de-veracruz/1194800/rachas-de-norte-dejan-43-arboles-caidos-en-xalapa
https://xeu.mx/veracruz/1194735/reportan-33-arboles-caidos-por-evento-de-norte-en-la-ciudad-de-veracruz
https://e-veracruz.mx/nota/2022-03-12/estado/saldo-ff35-arboles-caidos-apagones-y-danos-en-edificios-de-veracruz

# CAPÍTULO 2

# ESTRUCTURACIÓN Y PROPIEDADES DINÁMICAS DE LOS LETEROS ESPECTACULARES

## 2.1 INTRODUCCIÓN

La industria publicitaria ha ido creciendo a gran velocidad, lo que ha forzado a las personas a desarrollar estructuras con las cuales puedan cubrir sus necesidades. Una de ellas son los espectaculares, se pueden encontrar en diferentes presentaciones como son los espectaculares de cartelera, estos se encuentran a escasos metros del piso y se localizan en vías principales, los espectaculares de valla fija, los cuales se encuentran a ras de piso y principalmente se encuentran en cruces importantes, también se tienen los espectaculares monopolares, estos tienen más de 15 metros de altura los cuales sobresalen por su excelente ubicación y su visibilidad en zonas de gran flujo vehicular.

## 2.1 LETREROS ESPECTACULARES ESTUDIADOS

Este trabajo se enfoca en los espectaculares de tipo monopolar ya que estos despiertan un particular interés debido a las fallas que se tienen en estas estructuras a lo largo de la República Mexicana.

Dentro de los espectaculares de tipo monopolar existen también diferencias, principalmente en la posición del tubo poste. Se tuvieron como objetivo de estudio tres tipos distintos:

1) el espectacular sin excentricidad,
2) el espectacular de bandera y
3) el espectacular con tres caras.

El espectacular sin excentricidad consta de un poste principal sobre el cual se va a apoyar la estructura del espectacular, un tubo trabe de menores dimensiones colocado en la cima del poste principal de forma horizontal y por último una estructura formada por armaduras de elementos ligeros. El poste principal soporta al tubo trabe del centro del mismo y este a su vez soporta las armaduras como se muestra en la figura 2.1

Figura 2.1 Espectacular sin excentricidad.

El espectacular de bandera, al igual que el anterior está compuesto por una armadura sobre un tubo trabe en posición horizontal colocado en la cima del poste principal, la diferencia con el anterior recae en la posición del poste principal con respecto al tubo trabe, ya que este tiene una excentricidad con respecto a la trabe y a la armadura como se ilustra en la figura 2.2.

Figura 2.2 Espectacular de bandera

El espectacular de tres caras, como los dos anteriores, está soportado por un único poste, el poste principal a su vez está conectado a tres trabes los cuales forman una base triangular y sobre ella se encuentran tres armaduras del mismo tipo y tamaño que las de los espectaculares anteriormente mencionados, de esta manera se forman tres caras (figura 2.3).

Figura 2.3 Espectacular de tres caras

## 2.3 ESTRUCTURACIÓN DE LOS LETREROS ESPECTACULARES ESTUDIADOS

Para mayor facilidad de construcción se han diseñado estructuras tipo, las cuales cuentan con dimensiones y perfiles definidos para ciertos tipos de zonas. Estos perfiles son utilizados en las estructuras de los tres tipos de espectaculares soportados por un solo poste.

Los espectaculares están formados por un poste principal de perfil OC de 36 pulgadas de diámetro y con un espesor de ¾ pulgada, el tubo trabe es un perfil OC de 16 pulgadas de diámetro por un espesor de ½ pulgada y la armadura está conformada por perfiles angulares de lados iguales de 2.5 pulgadas en sus cuerdas, mientras que largueros y horizontales LI de 2”, por último, arriostramientos y diagonales de LI 1.5”, todos con un espesor de 3/16 de pulgada. Todos los perfiles son de acero A-36, en los diferentes letreros de este estudio.

La estructura de utilizada para colocar la cartelera está formada por 4 caras rectangulares: frontal, posterior y dos caras laterales. Las caras frontal y posterior tienen un largo y una altura de 12.9 m y 7.2m, respectivamente. Ambas caras están formadas por 4 claros de 1.8 m en la dirección vertical y 4 claros de 3 m en dirección horizontal, con diagonales las cuales forman “X”.

Las caras frontal y posterior están unidas por las caras laterales las cuales tienen un ancho de 1.2 m y una altura de 7.20 m, con 6 espacios de 1.20m cada uno y diagonales en cada claro (Figura 2.4).

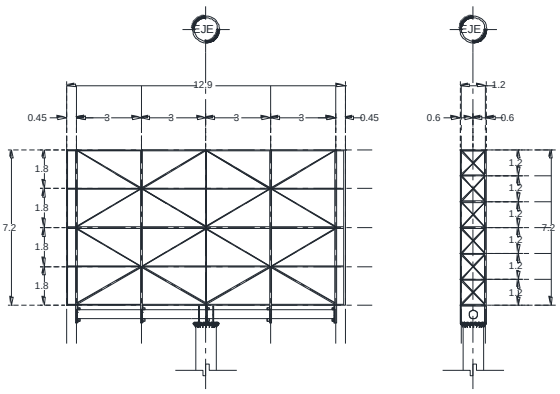



Figura 2.4 Estructuración de la armadura “tipo”, empleada en los espectaculares

Las dimensiones máximas, indicadas en el reglamento de la ley de publicidad exterior del Distrito Federal, especifican que la altura medida desde el nivel de banqueta hasta la parte inferior de la cartelera es de 24 m; la trabe tiene una longitud de 12 m, para las dimensiones de la cartelera se debe cumplir con una altura máxima de 7.2 m y 12.9 m de ancho, teniendo una altura total de 31.2 m (Figura 2.5).

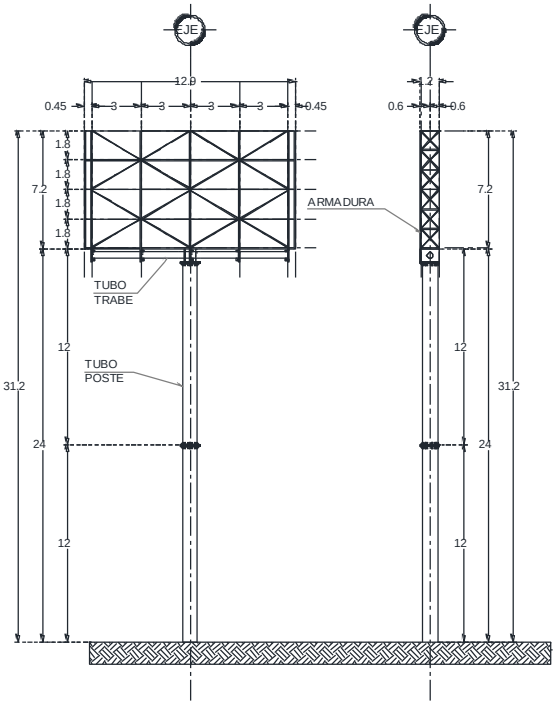



Figura 2.5 Estructuración “tipo” de los espectaculares

Los espectaculares sin excentricidad en el poste principal, así como los de tipo bandera, se diferencian únicamente en la ubicación de la trabe y de la armadura con respecto al poste principal.

Las dimensiones antes mencionadas son iguales, para el espectacular de tres caras, únicamente cambia la forma ya que se acomodan tres armaduras de las mismas dimensiones que las descritas con anterioridad. Estas armaduras se colocan en forma de triángulo para formar las tres vistas que distinguen a este tipo de espectaculares.

## 2.4 MODELO MATEMÁTICO

La obtención de las propiedades dinámicas de los espectaculares (periodo y formas modales) se llevó a cabo por medio de un modelo matemático en el programa de análisis SAP 2000. Para poder constatar que los resultados son correctos, se realizó lo que se denominó prueba de convergencia.

La prueba de convergencia se realizó debido a que había cambios en el periodo de la estructura dependiendo el número de nodos en los que estuviera dividido el poste principal. En un inicio se utilizó un elemento barra de dos nodos, al aumentar el número de nodos de 5, 10, 15, 20 y 25 nodos en el mismo elemento, el periodo disminuía significativamente, por lo que se realizaron diferentes modelos aumentando el número de nodos en el elemento hasta que el periodo convergió en un valor que ya no presentó cambios considerables (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Variación del periodo, durante la prueba de convergencia.

| Modo | 2 nodos | 5 nodos | 10 nodos | 15 nodos | 20 nodos | 25 nodos |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.248595 | 1.074578 | 1.065003 | 1.063617 | 1.06317 | 1.062972 |
| 2 | 1.237058 | 1.062946 | 1.05345 | 1.052076 | 1.051633 | 1.051437 |
| 3 | 0.3409 | 0.3409 | 0.3409 | 0.3409 | 0.3409 | 0.3409 |
| 4 | 0.206656 | 0.230167 | 0.231245 | 0.231389 | 0.231435 | 0.231455 |
| 5 | 0.193274 | 0.207024 | 0.208145 | 0.208305 | 0.208356 | 0.208378 |

Como se puede esperar, la variación no fue solo en el periodo, también las formas modales sufrieron cambios, los desplazamientos fueron menores cuando la cantidad de nodos era baja, mientras aumentaba el número de nodos, aumentaban los desplazamientos.

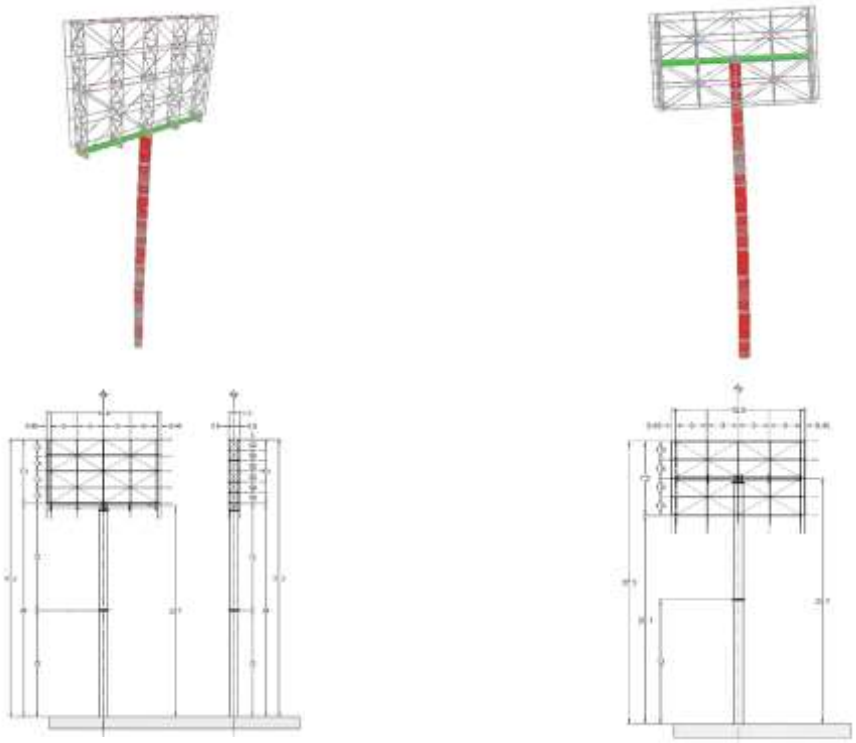
Después de revisar los resultados obtenidos de la prueba de convergencia, se llegó a la conclusión de que el espectacular con el poste principal dividido en 20 nodos es el adecuado ya que el periodo converge en esa configuración.

Como resultados de la prueba de convergencia en los modelos numéricos desarrollados se discretizó el tubo principal en 20 nodos y el tubo secundario en 13 nodos.

## 2.5 MODELOS NUMÉRICOS DESARROLLADOS

Los modelos numéricos se denominarán como:

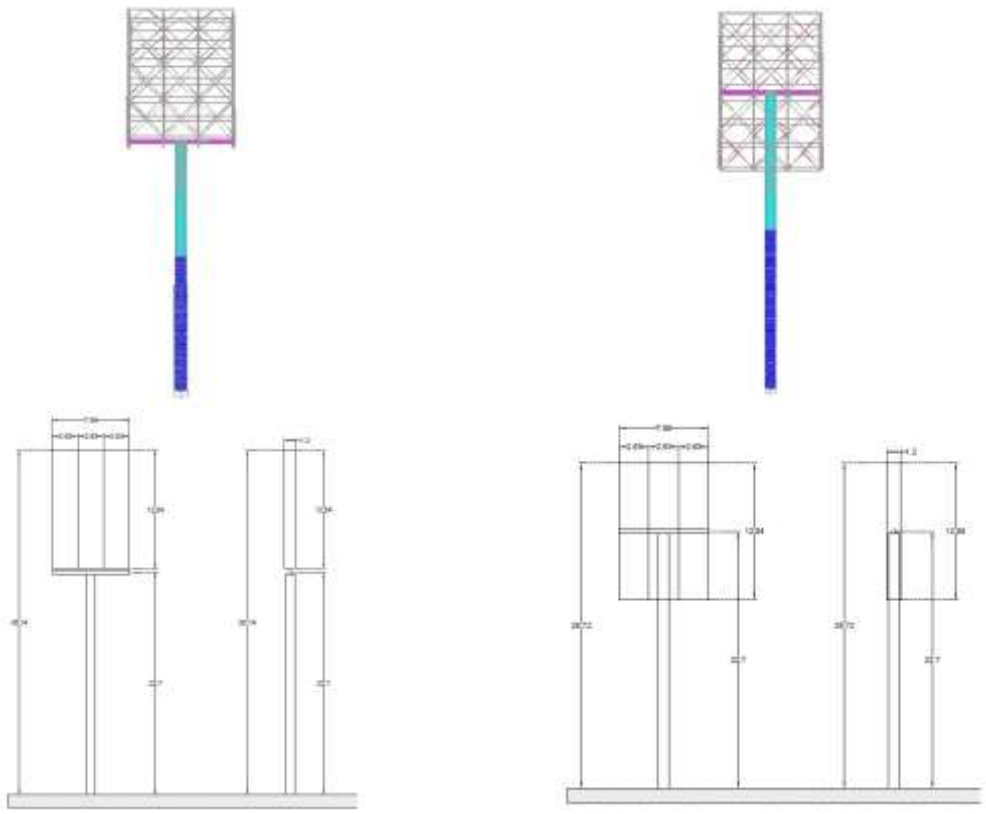
1) Letrero Modelo 1, espectacular con mampara rectangular con el tubo “viga” en la base de la cartelera, en el centro de rigidez (Figura 2.6a).
2) Letrero Modelo 2, espectacular con mampara rectangular con el tubo “viga” en el centro de masa, zona central de la cartelera. Básicamente, se trata del mismo modelo 1, pero con el centro de masas coincidiendo con el centro de rigidez (Figura 2.6b).



(a) Tubo viga en la base de la cartelera (modelo 1) (b) Tubo viga en el centro de la cartelera (modelo 2)

Figura 2.6 Modelo numérico letreros 1 y 2.

3) Letrero Modelo 3, se trata de un letrero con la cartelera orientada en la dirección transversal al modelo 1 y 2; pero con el tubo viga en la base de la cartelera, es decir, en el centro de rigidez (Figura 2.7a).
4) Letrero Modelo 4, se trata de un letrero con las mismas características del modelo 3, pero con el tubo viga colocado en el centro de la cartelera, es decir, en el centro de masa (Figura 2.7b).

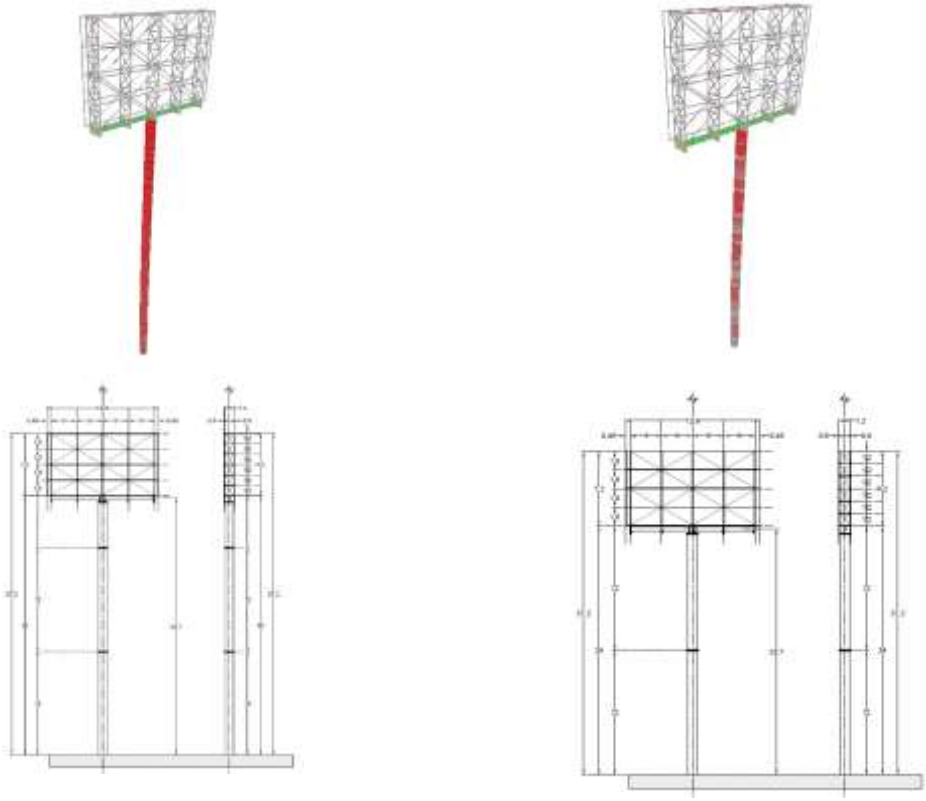


(a) Tubo viga en la base de la cartelera (modelo 3) (b) Tubo viga en el centro de la cartelera (modelo 4)

Figura 2.7 Modelos 3 y 4, con cartelera orientada en la dirección vertical.

Con los modelos 3 y 4, se identifica la influencia del momento másico de la cartelera en el periodo de vibrar.

5) Letrero Modelo 5, se trata de un letrero con el tubo base de 30 metros de altura, con las mismas propiedades que modelo 1, pero con una altura mucho mayor. Con este modelo se trata de identificar la influencia de la flexibilidad del tubo en el periodo de vibrar. En la Figura 2.8 se muestran los modelos 3 y 1, que tienen las mismas propiedades, pero diferente altura. Esto se realizó tomando en cuenta que no en todas las ocasiones se respetan las alturas máximas y por la necesidad de la situación se incrementa la altura de los espectaculares poniendo en riesgo la seguridad de la estructura.



(a) Espectacular con un tubo de 30m altura (modelo 5) (b) Espectacular con un tubo de 24m altura, (modelo 1)

Figura 2.8 Modelo 5 con 6 m más de altura que el Modelo 1.

6) Letrero Modelo 6, se trata de un letrero conocido como bandera, por su similitud a esa estructura (Figura 2.9).

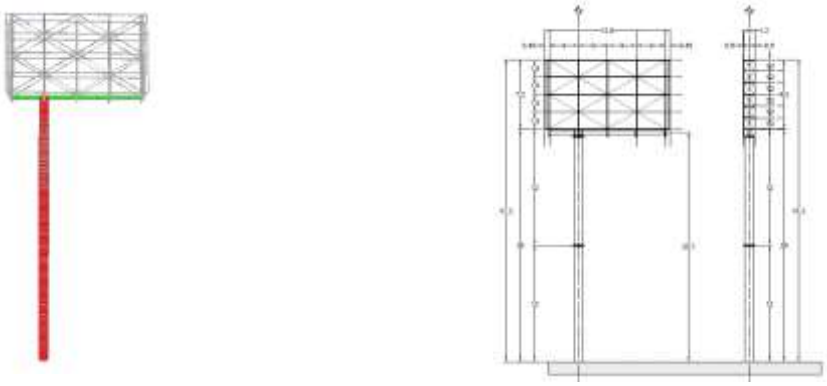


Figura 2.9 Modelo 6, espectacular tipo bandera.

7) Letrero Modelo 7, se trata de un espectacular con tres caras o vistas publicitarias (Figura 2.10).

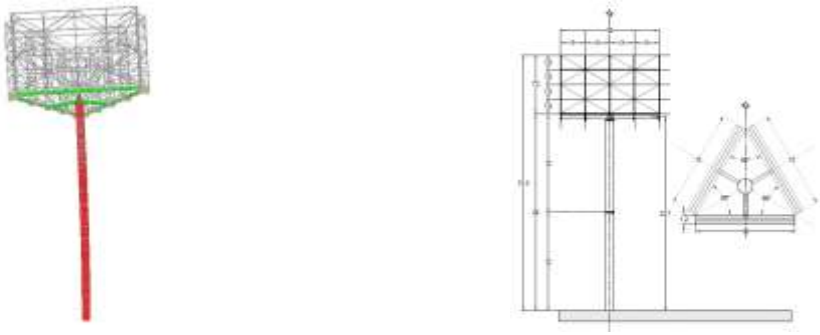


Figura 2.10 Modelo 7, espectacular con tres vistas.

## 2.6 PROPIEDADES DE LOS MODELOS 1 Y 2

Se desarrollaron los modelos de los letreros 1 y 2; y 3 y 4, con fin de identificar la variación del periodo y de las formas modales, dependiendo de la posición del centro de masa con respecto al centro de rigidez de la cartelera.

De esta forma el modelo del letrero 1 y del letrero 2, tiene las mimas propiedades estructurales, la misma masa y el mismo tubo principal, la diferencia entre ellos es que el tubo "viga" en el modelo 1 se ubica en la base de la cartelera, mientras que en el modelo 2, se ubica en el centro de la masa de la cartelera. En la Tabla 2.2 se muestran los periodos de vibrar, el modo de vibrar asociado a él, y el porcentaje de participación de masa del Modelo 1; en la Tabla 2.3 se registran los mismos datos, pero del Modelo 2. En las Figuras 2.12 y 2.13 se muestran los primeros seis formas modales para cada uno de los Modelos.

Tabla 2.2 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 1.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | Participación de masa | | Dirección |
|---|---|---|---|---|
| | | UZ | UX | |
| Primero | 1.06 | 0.62 | 0.0 | flexión en Z |
| Segundo | 1.05 | 0.0 | 0.64 | flexión en X |
| Tercero | 0.34 | 1.151E-18 | 2.942E-18 | flexo-torsión |
| Cuarto | 0.23 | 0.13 | 2.166E-19 | flexión en Z |
| Quinto | 0.21 | 1.556E-18 | 0.11 | flexión en X |
| Sexto | 0.16 | 3.825E-17 | 3.517E-19 | flexo-torsión |

Tabla 2.3 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 2.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | Participación de masa | | Dirección |
|---|---|---|---|---|
| | | UZ | UX | |
| Primero | 0.98 | 0.64 | 0.0 | flexión en Z |
| Segundo | 0.97 | 0.0 | 0.67 | flexión en X |
| Tercero | 0.28 | 3.986E-14 | 6.933E-19 | flexo-torsión |
| Cuarto | 0.20 | 0.11 | 0.0 | flexión en Z |
| Quinto | 0.14 | 1.871E-18 | 0.15 | flexión en X |
| Sexto | 0.12 | 2.908E-11 | 2.592E-18 | flexo-torsión |

Comparado los periodos fundamentales en flexión, es denotarse que el Modelo 1 presenta un periodo mayor que el del Modelo 2, esto debido a que el Modelo 2 debido a que el tubo viga está colocado en

el centro de masa, lo que hace que tanto el centro de masa y el de rigidez, coincidan. No así el Modelo 1, en el cual hay una excentricidad debido a la misma consideración, lo que hace que se comporte como un oscilador de dos grados de libertad, el desplazamiento lateral y el cabeceo de la mampara, debido al momento másico de la misma.

En la Figura 2.11 se muestran las formas modales del letrero denominado Modelo 1, y en la Figura 2.12 se muestran para el Modelo 2. Comparando los periodos de vibrar del Modelo 1 y del Modelo 2, se observa que colocar el tubo viga en el centro de la cartelera disminuye el periodo de vibrar y tiene a ser similar a considerar el letrero como un oscilador de un grado de libertad.

Para efectos de las cargas eólicas, la condición de diseño deben ser los dos primeros modos de vibrar en flexión en la dirección *y*, mostradas en la Tabla 2.4 para el letrero del Modelo 1, y con las mostradas en la Tabla 2.5, para el modelo 2; en la Figura 2.11 se muestran dichas formas modales. En los modelos existe un modo local de vibrar de la mampara en flexo-torsión, pero su contribución de la masa en la dirección del análisis es casi nula.

Tabla 2.4 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 1, para un análisis eólico.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | $\left(\frac{T_n}{T_1}\right)$ | %participación de masa |
|---|---|---|---|
| | | | UX |
| flexión en X | 1.05 | ---- | 0.64 |
| flexo-torsión mampara | 0.34 | 0.32 | 2.942E-18 |
| flexión en X | 0.21 | 0.20 | 0.11 |

Tabla 2.5 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 2, para un análisis eólico.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | $\left(\frac{T_n}{T_1}\right)$ | %participación de masa |
|---|---|---|---|
| | | | UX |
| flexión en X | 0.97 | --- | 0.67 |
| flexo-torsión mampara | 0.28 | 0.29 | 6.933E-19 |
| flexión en X | 0.14 | 0.14 | 0.15 |

Modo fundamental en flexión en X del Modelo 1, $T_1$=1.05s

Modo fundamental en flexión en X del Modelo 2, $T_1$=0.97s

Figura 2.11 Formas modales y periodos que deben considerarse ante cargas eólicas.

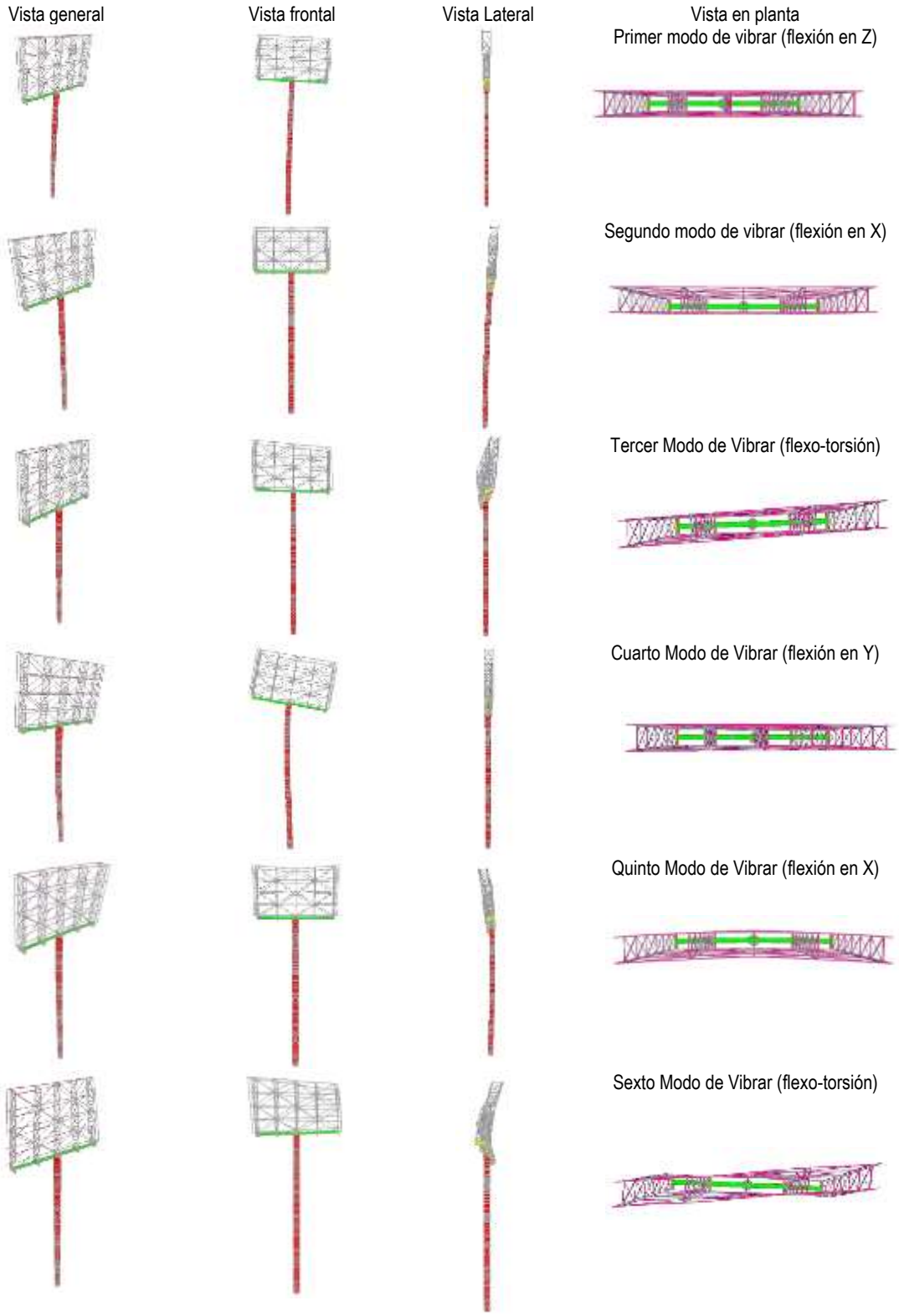



Figura 2.12 Formas modales del letrero espectacular, Modelo 1.

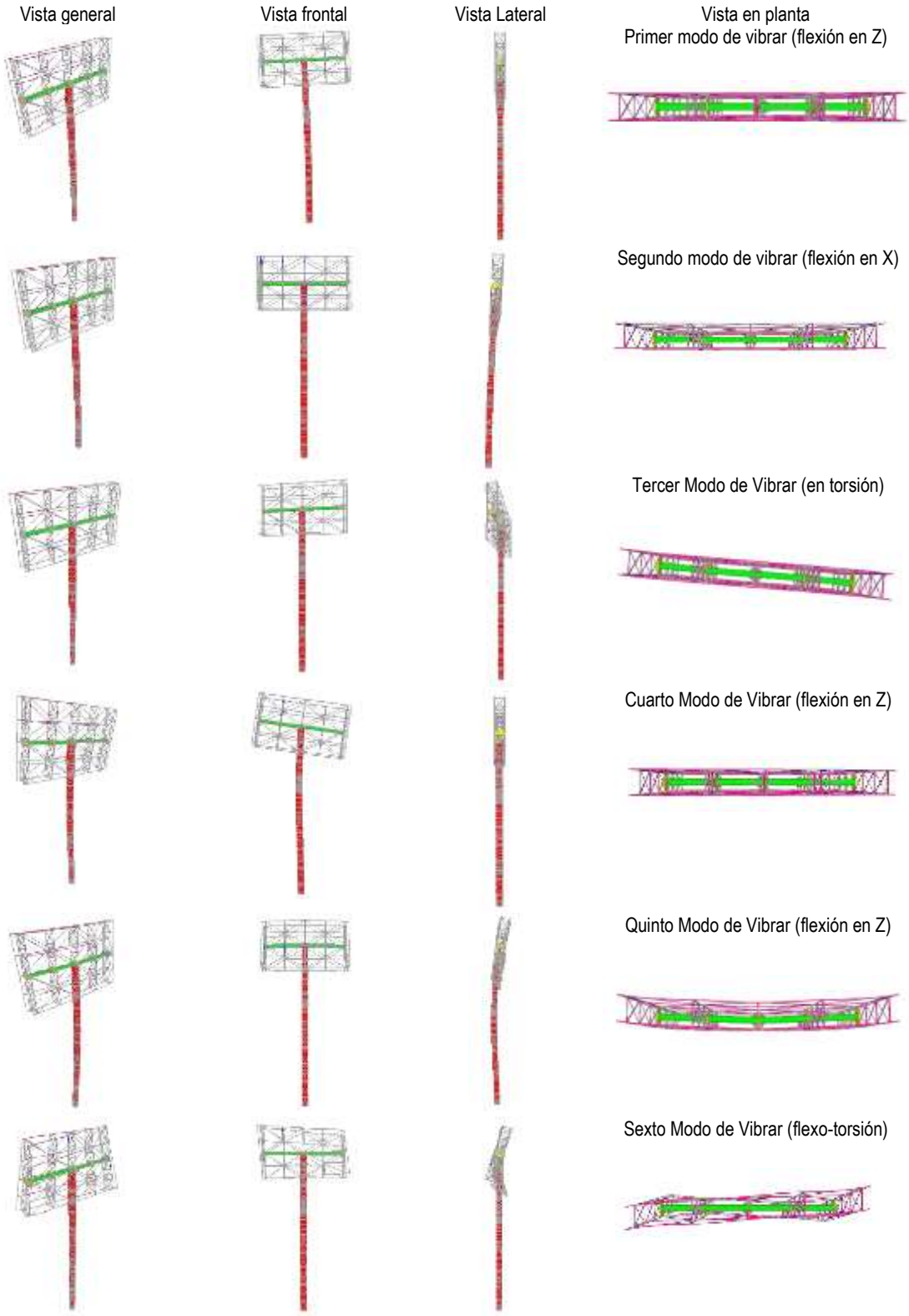



Figura 2.13 Formas modales del letrero espectacular, Modelo 2.

## 2.7 PROPIEDADES DE LOS MODELOS 3 Y 4

En algunas ciudades de México, de forma incorrecta malinterpretan las normas de publicidad exterior, o en algunas ciudades no existen dicha norma. En la norma en las que se indica que el tubo columna no puede tener una altura mayor a 22.5m, y la mampara debe tener las dimensiones máximas permitidas de 12.0m por 7.80m, algunas empresas colocan la mampara en forma vertical es decir, de 7.80m por 12.0m, justificando que la normatividad no aclara la orientación de la mampara. Lo anterior ocasiona que se coloquen anuncios espectaculares como los del Modelo 3 o como los del Modelo 4, tratados en este apartado.

El Modelo 3 tiene la cartelera orientada en forma vertical, es decir, más alta que ancha y con el tubo viga colocado en la base de la cartelera. El Modelo 4, es similar al Modelo 3, es decir, con la misma altura del tubo columna, y las mismas dimensiones y orientación de la cartelera, pero con el tubo viga colocado en el centro de masas de la cartelera, lo que lo hace menos alto que el Modelo 3.
En la Tabla 2.6 se muestran las formas modales, los periodos de vibrar asociado a ellas y el porcentaje de participación de la masa para el Modelo 3, en lo referente al Modelo 4, se muestran en la Tabla 2.7.

Como se puede ver, en ambas tablas, el Modelo 3, tiene un periodo de vibrar 20% mayor que el del Modelo 4, debido a la posición del tubo viga, el cual hace que el Modelo 4 se comporte como un oscilador de un grado de libertad, mientras que el Modelo 3, tiene la influencia de la rotación de la cartelera. Lo anterior también se puede deducir, al comparar el porcentaje de masa que participa en el segundo modo de vibrar, para el Modelo 3, el porcentaje de participación es del 16%, mientras que para el Modelo 4, es del 5% (Tabla 2.8 y 2.9).

Tabla 2.6 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 3.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | Participación de masa | | Dirección |
|---|---|---|---|---|
| | | UZ | UX | |
| Primero | 1.08 | 0.0 | 0.53 | flexión en X |
| Segundo | 1.06 | 0.54 | 0.0 | flexión en Z |
| Tercero | 0.42 | 1.731E-17 | 0.000005959 | torsión |
| Cuarto | 0.31 | 2.241E-18 | 0.16 | flexión en X |
| Quinto | 0.25 | 0.18 | 0.0 | flexión en Z |
| Sexto | 0.20 | 9.119E-20 | 5.396E-09 | torsión |

Tabla 2.7 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 4.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | Participación de masa | | Dirección |
|---|---|---|---|---|
| | | UZ | UX | |
| Primero | 0.88 | 0.61 | 0.0 | flexión en Z |
| Segundo | 0.87 | 0.0 | 0.62 | flexión en X |
| Tercero | 0.21 | 0.0 | 0.05487 | flexión en X |
| Cuarto | 0.209 | 3.013E-20 | 4.346E-19 | torsión |
| Quinto | 0.201 | 0.10 | 1.559E-20 | flexión en Z |
| Sexto | 0.195 | 2.466E-20 | 8.32E-20 | torsión |

En las Tablas 2.8 y 2.9 se muestran las formas modales, los periodos de vibrar, su relación entre ambos periodos y la participación de masa, que se debe considerar como desfavorable en un análisis eólico de los espectaculares. El modo de vibrar en flexo-torsión tiene poca participación modal en la dirección del análisis.

Tabla 2.8 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 3, para un análisis eólico.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | $\left(\frac{T_n}{T_1}\right)$ | %participación de masa |
|---|---|---|---|
| | | | UX |
| flexión en X | 1.08 | ---- | 0.53 |
| torsión | 0.42 | 0.39 | 0.000005959 |
| flexión en X | 0.31 | 0.29 | 0.16 |

Tabla 2.9 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 4, para un análisis eólico.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | $\left(\frac{T_n}{T_1}\right)$ | %participación de masa |
|---|---|---|---|
| | | | UX |
| flexión en X | 0.87 | ---- | 0.62 |
| torsión | 0.209 | 0.24 | 4.346E-19 |
| flexión en X | 0.21 | 0.24 | 0.05 |

En las Figuras 2.14 y 2.15 se muestran las vistas general, frontal, lateral y en planta de las formas modeles de los Modelos 3 y 4, respectivamente.

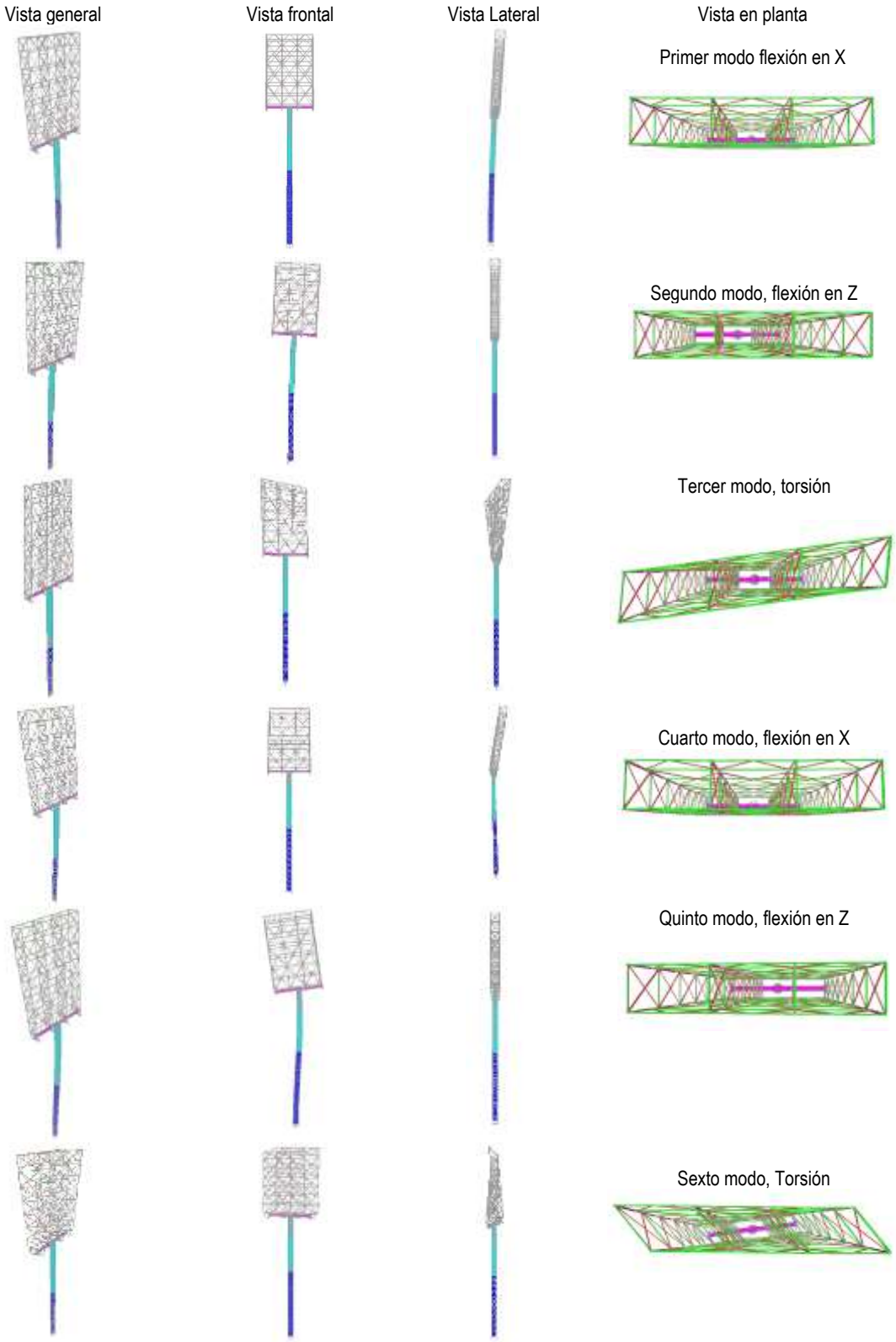



Figura 2.14 Formas modales del letrero espectacular, Modelo 3.

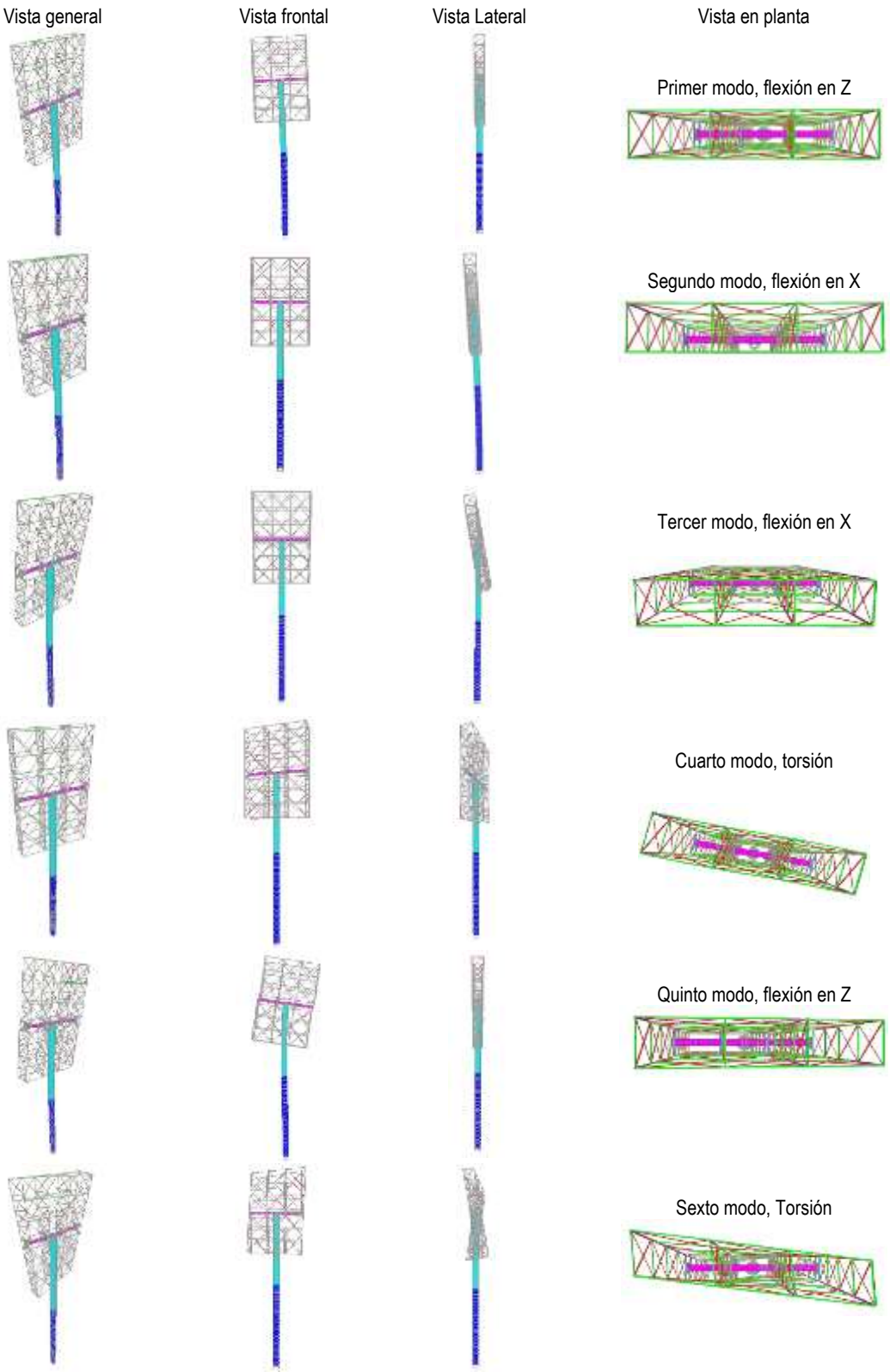



Figura 2.15 Formas modales del letrero espectacular, Modelo 4.

## 2.8 PROPIEDADES DE LOS MODELOS 5 Y 1

Otro caso en el que se violan los lineamientos de publicidad exterior en algunas ciudades, es el de aumentar la altura del tubo columna, con el fin de lograr salvar visualmente la publicidad de puentes viaductos elevados, edificaciones, u otros elementos. En esta sección se Modelo un anuncio espectacular, típico en las grandes ciudades, que excede la altura definida del tubo columna. El Modelo 5, tiene una altura, medida a partir de su base a la base de la cartelera de 30m, comparado con la altura reglamentaria de 24m, que es la que tiene el Modelo 6. Las dimensiones de la cartelera y otros elementos estructurales son las mismas, en ambos Modelos.

Tabla 2.10 Modelos de vibrar y sus periodos, Modelo 5.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | Participación de masa | | Dirección |
|---|---|---|---|---|
| | | UZ | UX | |
| Primero | 1.52 | 0.63 | 0.0 | flexión en Z |
| Segundo | 1.51 | 0.0 | 0.64 | flexión en X |
| Tercero | 0.36 | 1.318E-19 | 0.0 | flexo-torsión |
| Cuarto | 0.28 | 0.15 | 7.365E-19 | flexión en Z |
| Quinto | 0.26 | 1.91E-19 | 0.15 | flexión en X |
| Sexto | 0.16 | 2.705E-17 | 6.236E-18 | flexo-torsión |

Tabla 2.11 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 1.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | Participación de masa | | Dirección |
|---|---|---|---|---|
| | | UZ | UX | |
| Primero | 1.06 | 0.62 | 0.0 | flexión en Z |
| Segundo | 1.05 | 0.0 | 0.64 | flexión en X |
| Tercero | 0.34 | 1.151E-18 | 2.942E-18 | flexo-torsión |
| Cuarto | 0.23 | 0.13 | 2.166E-19 | flexión en Z |
| Quinto | 0.21 | 1.556E-18 | 0.11 | flexión en X |
| Sexto | 0.16 | 3.825E-17 | 3.517E-19 | flexo-torsión |

En las Tablas 2.10 y 2.11, se muestran las formas modales, sus periodos y el porcentaje de participación de la masa, obtenida en el Modelo 5 y el Modelo 1, respectivamente. Lo anterior se hace para fines de comparación entre ambos modelos.

Para fines de un análisis eólico, la situación de carga más desfavorable, es en la dirección perpendicular a la mampara, debido a que es donde mayor área expuesta se presenta. En las Tablas 2.12 y 2.13, se muestran las formas modales y sus periodos que debieran utilizarse para este tipo de análisis, para ambos Modelos.

Como se puede ver, de las Tablas 2.12 y 2.13, el Modelo 5, tiene un periodo de vibrar 44% mayor que el que tiene el Modelo 1, aunque el segundo modo en flexión, para ambos Modelos, del del mismo orden de magnitud y guardan similar proporción con respecto al modo fundamental, con una participación de masa de 11% y 15%, respectivamente. Lo anterior, hace suponer un comportamiento estructural similar entre ambos Modelos.

Aparase en los modelos un periodo en flexo-torsión, este modo se presenta localmente en la mampara, y su porcentaje de participación de la masa es casi nulo, en la dirección más desfavorable ante cargas eólicas.

Tabla 2.12 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 5, para un análisis eólico.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | $\left(\frac{T_n}{T_1}\right)$ | %participación de masa |
|---|---|---|---|
| | | | UX |
| flexión en X | 1.51 | ---- | 0.64 |
| Flexo-torsión | 0.36 | 0.23 | 0.0 |
| flexión en X | 0.26 | 0.17 | 0.15 |

Tabla 2.13 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 1, para un análisis eólico.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | $\left(\frac{T_n}{T_1}\right)$ | %participación de masa |
|---|---|---|---|
| | | | UX |
| flexión en X | 1.05 | ---- | 0.64 |
| flexo-torsión | 0.34 | 0.32 | 2.942E-18 |
| flexión en X | 0.21 | 0.20 | 0.11 |

En la Figura 2.16 se muestran las formas modales y sus direcciones, obtenidas mediante un software especializado, en el Modelo 5.

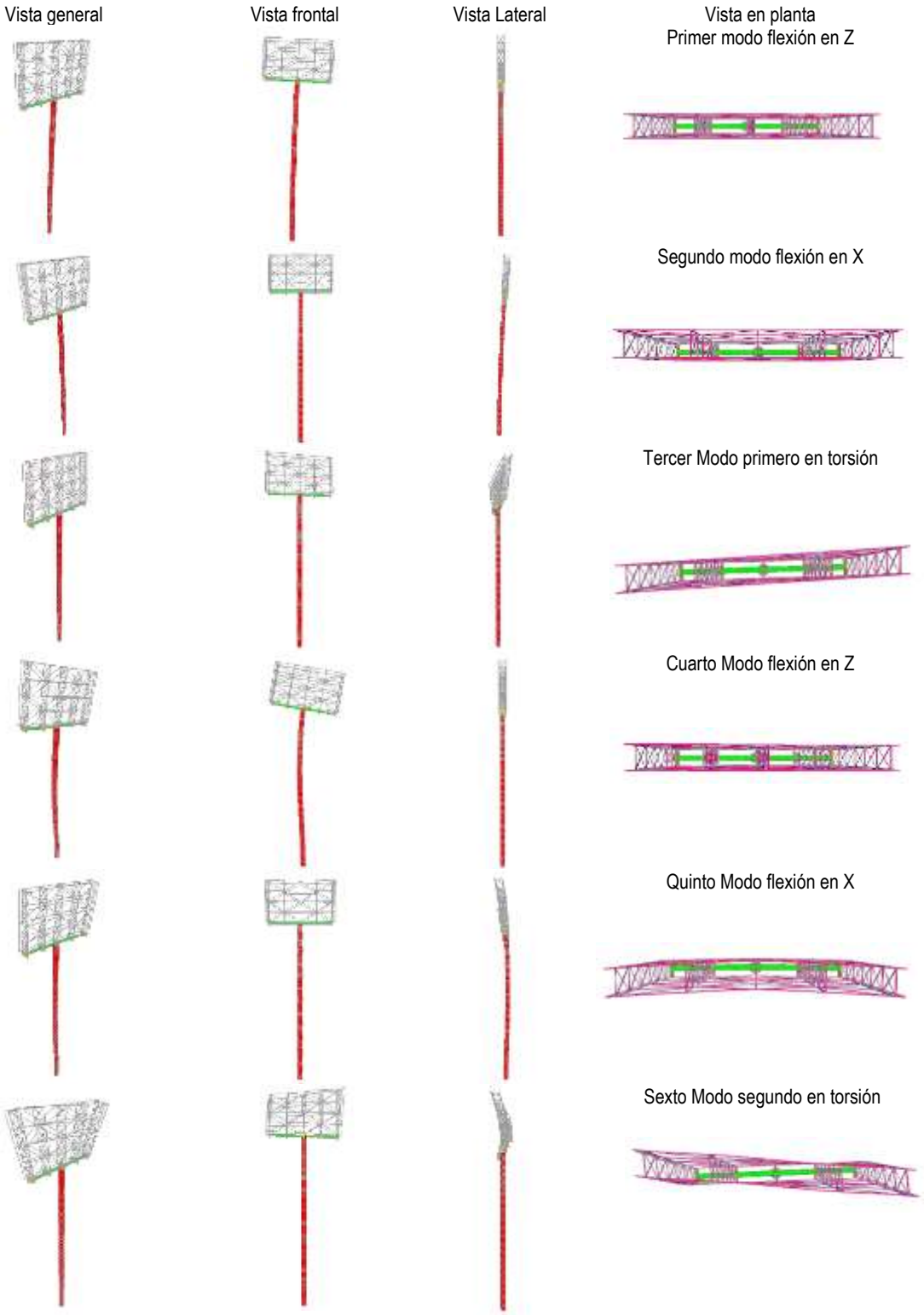



Figura 2.16 Formas modales del letrero espectacular, Modelo 5.

## 2.9 PROPIEDADES DEL MODELO 6

En esta sección se muestran las formas modales y sus periodos de vibrar, de un espectacular de gran uso en diversas ciudades de México, es conocido como espectacular tipo bandera, y las dimensiones del mismos son las utilizadas en la práctica de publicidad exterior, y fueron descritas en la sección 2.5.

En la Tabla 2.14 se muestran las formas modales, sus periodos de vibrar y el porcentaje de participación de masa de los primeros seis modos de vibrar del Modelo 6. En la Figura 2.17 se muestran las formas modales asociadas a los valores registrados en la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 6.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | Participación de masa | | Dirección |
|---|---|---|---|---|
| | | UZ | UX | |
| Primero | 1.08 | 0.0 | 0.62 | flexión en X |
| Segundo | 1.07 | 0.61 | 0.0 | flexión en Z |
| Tercero | 0.40 | 1.789E-20 | 0.04638 | flexión-torsión |
| Cuarto | 0.26 | 0.14 | 1.676E-17 | flexión en Z |
| Quinto | 0.22 | 8.837E-19 | 0.01741 | flexión en X |
| Sexto | 0.17 | 7.125E-19 | 0.09536 | en flexión-torsión |

En la Tabla 2.15 se resumen las formas modales, los periodos y su relación entre ellos, así como la participación de la masa en la dirección más desfavorable para un análisis eólico de la estructura.

Tabla 2.15 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 6, para un análisis eólico.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | $\left(\frac{T_n}{T_1}\right)$ | %participación de masa |
|---|---|---|---|
| | | | UX |
| flexión en X | 1.08 | ---- | 0.62 |
| flexo-torsión | 0.40 | 0.37 | 0.05 |
| flexión en X | 0.22 | 0.20 | 0.02 |
| flexo-torsión | 0.17 | 0.16 | 0.10 |

En la Tabla 2.15 se puede ver que existen dos modos locales de flexo-torsión, aunque su porcentaje de participación en la dirección de análisis eólico es relativamente bajo, el segundo modo en flexión participa en menor proporción. La respuesta eólica considerando únicamente el modo fundamental podría verse afectada por la existencia de estos modos, por lo que la mejor forma de saberlo es realizando un análisis paso a paso.

En la Figura 2.17 se muestran las formas modales del Modelo 6, desde diferentes perspectivas, y están asociadas los datos mostrados en la Tabla 2.14.

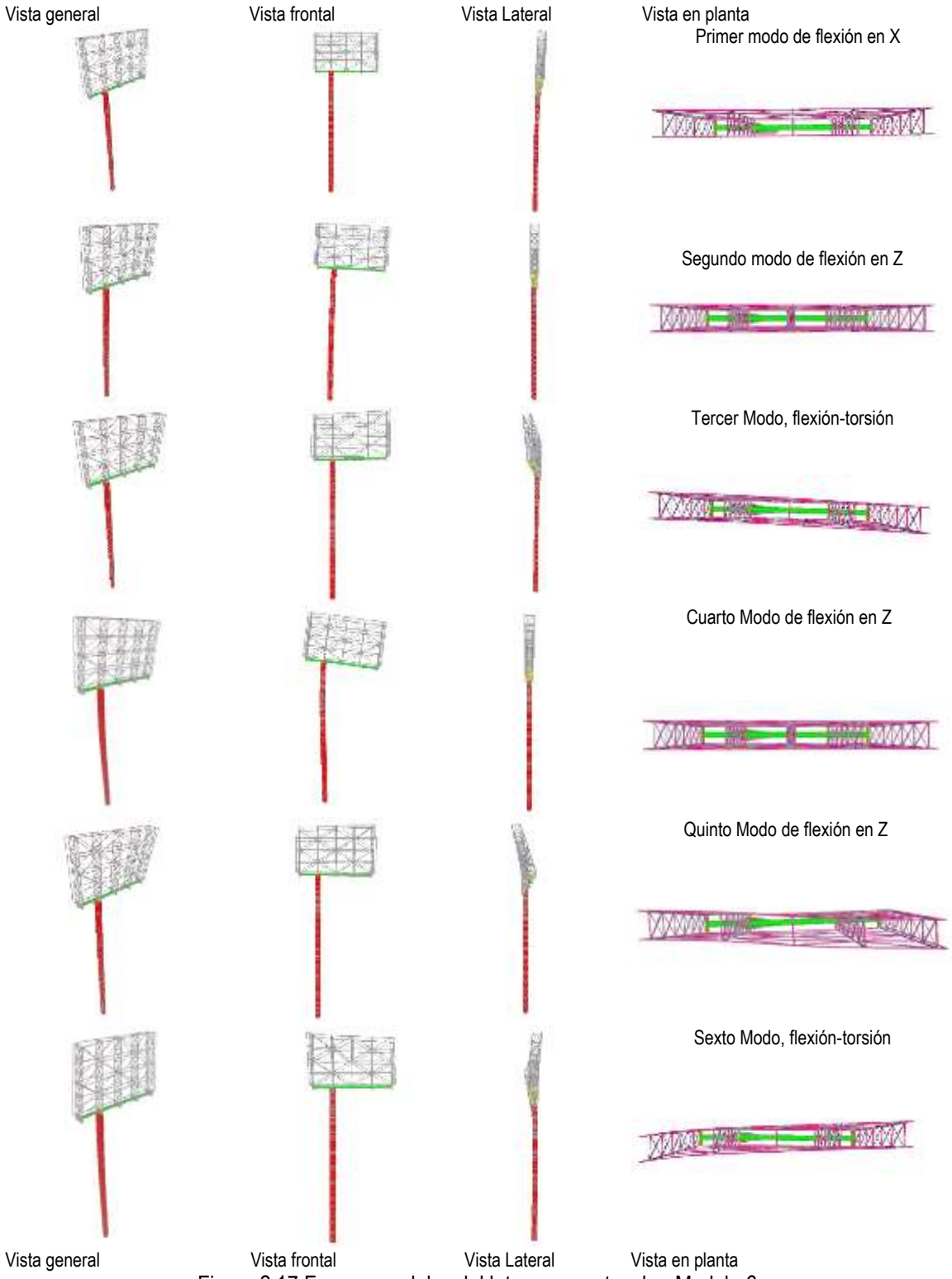



Figura 2.17 Formas modales del letrero espectacular, Modelo 6.

## 2.10 PROPIEDADES DEL MODELO 7

El Modelo 7 es un monopolar que comúnmente utilizado debido a que permite publicitar la información desde tres vistas, distribuidas en forma triangular. Las dimensiones en cada cara es la misma que si estuviera la pancarta en una sola vista.

Las formas modales, sus periodos y la participación de masas se muestra en la Tabla 2.16, asociados a esos datos, en la Figura 2.18 se muestran desde varios ángulos las formas modales.

Tabla 2.16 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 7.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | Participación de masa | | Dirección |
|---|---|---|---|---|
| | | UZ | UX | |
| Primero | 1.66 | 0.70 | 0.02 | flexión Z |
| Segundo | 1.66 | 0.02 | 0.70 | flexión X |
| Tercero | 0.65 | 0.0 | 0.0 | flexo-torsión |
| Cuarto | 0.37 | 0.10 | 0.001 | flexión Z |
| Quinto | 0.37 | 0.001 | 0.10 | flexión X |
| Sexto | 0.19 | 6.405E-18 | 3.131E-18 | flexo-torsión |

En este espectacular, existen modos de flexo-torsión que deberán domarse en cuenta en un análisis paso a paso con historias de viento sintéticas, ya que en el plano solo participan los modos en flexión en la dirección x/y, que se registran en la Tabla 2.17.

Tabla 2.17 Modos de vibrar y sus periodos del Modelo 7, para un análisis eólico.

| Modo de Vibrar | Periodo (s) | $\left(\frac{T_n}{T_1}\right)$ | %participación de masa |
|---|---|---|---|
| | | | UX |
| flexión en X | 1.66 | ---- | 0.70 |
| flexo-torsión | 0.65 | 0.39 | 0.00 |
| flexión en X | 0.37 | 0.22 | 0.10 |

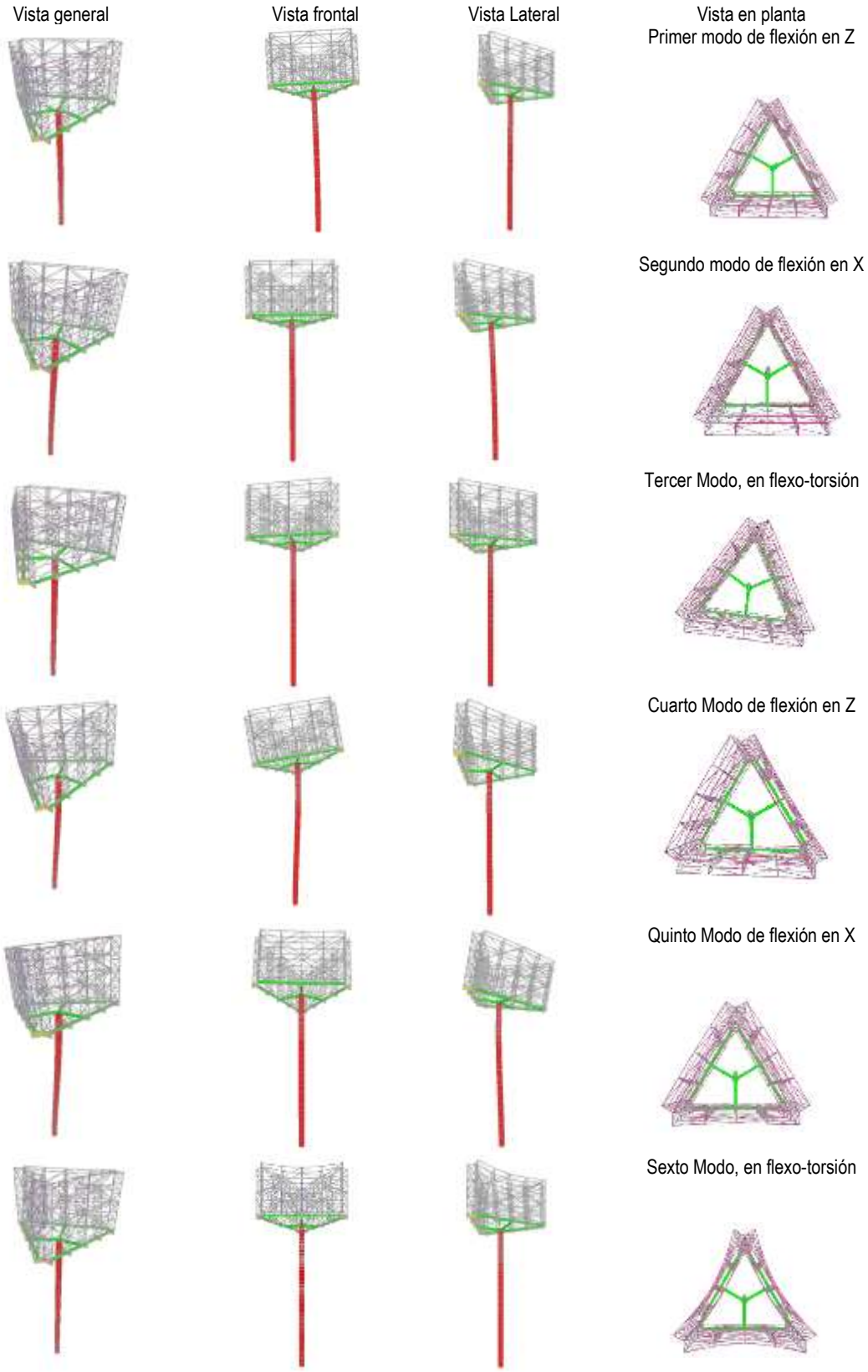



Figura 2.18 Formas modales del letrero espectacular, Modelo 7.

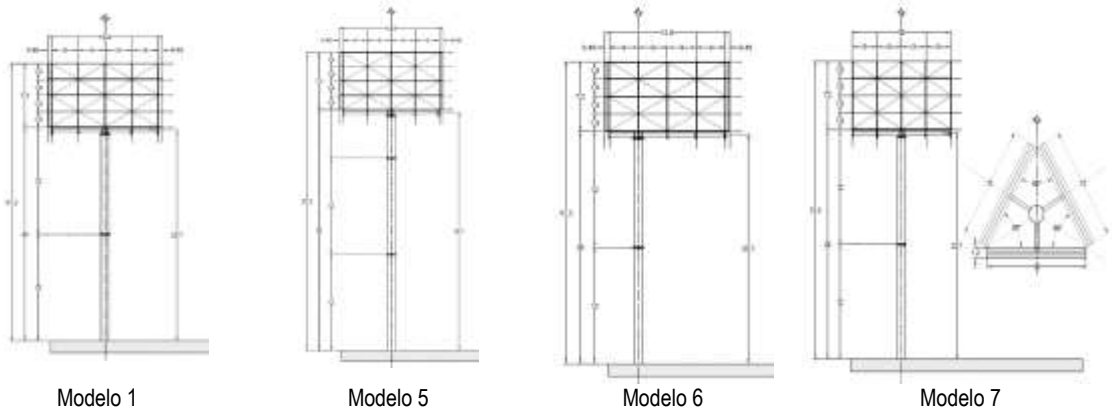
## 2.11 CONCLUSIONES

En este capítulo se describieron las características físicas de los Modelos de monopolares estudiados, así como las formas modales, sus periodos y la participación de la masa que interactúa en un análisis dinámico. Para ello se consideraron tres letreros espectaculares de uso convencional en los medios publicitarios:

1) Modelo 1, con una cartelera rectangular con dimensiones geométricas y con elementos estructurales convencionalmente utilizados en México.
2) Modelo 1, similar al Modelo 2, pero con la viga tubo colocada en el centro de masa. Este Modelo no es común en México.
3) Modelo 3 y Modelo 4, son modelos que violan las normas de publicidad vigentes en la Ciudad de México, y se estudia la influencia de colocar la mampara con las dimensiones colocadas en dirección vertical, es decir, más alta que ancha, y con el tubo viga en la base de la cartelera (Modelo 3) y con el tubo viga colocado en el centro de masa de la cartelera (Modelo 4).
4) Modelo 5, se trata de un espectacular con dimensiones que violan los límites de altura, de la norma publicitaria vigente en la Ciudad de México, con 6m más de altura que los letreros permitidos (Modelo 1).
5) Modelo 6, se trata de un modelo en forma de bandera, convencionalmente utilizado para permitir la visual de la publicidad en lugares con alta densidad de obstáculos.
6) Modelo 7, se trata de un modelo con tres vistas, utilizado en zonas o terrenos abiertos, que permiten visualizar la publicidad desde varios ángulos.

Para todos los modelos estudiados, el modo fundamental que se presenta es en flexión, con una participación de la masa entre un 60 y 70%. El segundo modo en flexión, se encuentra es entre un 15 y 20 por ciento del fundamental, con una participación de la masa en la dirección de la flexión de un 10% aproximadamente.

Existen algunos modos en flexo-torsión locales de la armadura que soporta la cartelera, pero no tiene participación modal en la dirección del análisis eólico.



| Modelo 1 | Modelo 5 | Modelo 6 | Modelo 7 |
|---|---|---|---|
| $T_1$=1.05 s | $T_1$=1.51 s | $T_1$=1.08 s | $T_1$=1.66 s |
| $T_2$=0.21 s | $T_2$=0.26 s | $T_2$=0.22 s | $T_2$=0.37 s |

Figura 2.19 Periodos de vibrar en flexión de los modelos estudiados.

En la Figura 2.19 se muestran en forma resumida, los modelos estudiados y sus dos primeros periodos de vibrar en flexión, en la dirección perpendicular a la mampara. Considerando el Modelo 1 como base, se puede ver que el Modelo 6, que tiene las mismas propiedades de masa y rigidez, pero una excentricidad del centro de cortantes y el centro de masa, en las direcciones (x,z), tiene poca influencia en cuanto sus periodos de vibrar, prácticamente son los mismos.

Comparando el Modelo 1 y el Modelo 5, debido a que éste tiene 6m de altura más que le Modelo 1, y la mima masa de la cartelera, presenta un periodo fundamental mayor, pero el segundo periodo es casi similar.

El Modelo 7, tiene dos veces más masa que el Modelo 1, aunque la misma rigidez lateral, por lo que tiene un periodo mayor.

## 2.12 REFERENCIAS

Wilson, J., (2003). Dynamics of Offshore Structures, John Wiley and Sons, ISBN 0-471-26467-9.

# CAPÍTULO 3

# RESPUESTA DE ANUNCIOS ESPECTACULARES MEDIANTE EL USO DE SIMULACIONES

## 3.1 INTRODUCCIÓN

El viento, es una de las cargas ambientales que, junto con el sismo, ocasionan más daño en las estructuras, con la diferencia de que los sismos capaces de ocasionar grandes daños ocurren con menor asiduidad que las tormentas de viento con velocidades suficientes para generar daño en las estructuras. Prácticamente todos los días existe una tormenta en algún lugar de planeta, cabe mencionar que muchos de esos sucesos son tormentas pequeñas; es en los océanos, donde se generan los eventos de viento más fuertes, conocidos como ciclones tropicales. Los ciclones tropicales son un sistema de tormentas que circula alrededor de un centro de baja presión ocasionando vientos fuertes y grandes cantidades de lluvia, estos se originan sobre aguas tropicales y se clasifican según la velocidad del viento que genere (depresión tropical, tormenta tropical y huracán) y producen grandes daños al tocar tierra.

El viento, es el flujo de una masa de aire ocasionado por los cambios de presión y temperatura, normalmente el termino se utiliza en la componente horizontal, mientras que la vertical se le conoce como corriente, las corrientes pierden importancia cerca del nivel del suelo, por otro lado, la componente horizontal es de vital importancia en la ingeniería, principalmente el cambio gradual de la velocidad del viento y la turbulencia; la zona de turbulencia se extiende hasta una altura de casi 400 metros y es en esta zona donde se realiza la mayor parte de la actividad humana. Aunque el viento no es visible por el ojo humano, podemos percibir cambios en la velocidad del viento, estos cambios se les conoce como turbulencia o ráfaga y son de gran importancia en la determinación de la respuesta de una estructura, principalmente en las que por su esbeltez tienden a tener periodos altos y desplazamientos considerables debido a su escasa rigidez.

## 3.2 ECUACIÓN DE MOVIMIENTO

Si consideramos una estructura con masa (m), una rigidez elástica lateral (k), la cual puede ser considerada como un oscilador de un grado de libertad como se muestra en la figura 3.1. Esta estructura es sometida a una fuerza constante ($\bar{F}$), así como a una fuerza gravitacional (mg) donde g es la aceleración de la gravedad.

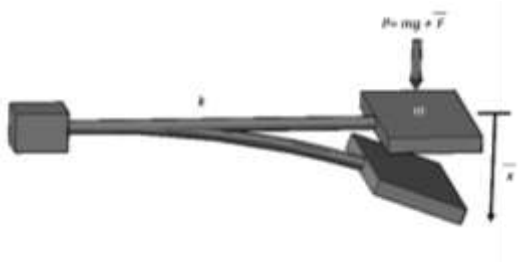


Figura 3.1 Respuesta media de un oscilador de un grado de libertad.

La ecuación de la estructura se escribe de la siguiente manera:

$$k\bar{x} = mg + \bar{F} \tag{3.1}$$

Donde $\bar{x}$ es el desplazamiento estático de la estructura.

Si además estuviera sujeta a una carga dinámica, P(t), la estructura tendrá un desplazamiento, x(t).

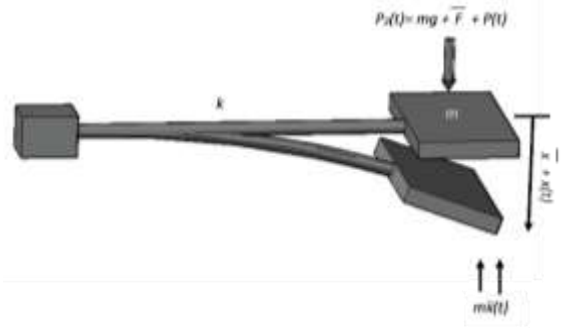



Figura 3.2 Respuesta media más respuesta dinámica de un oscilador de un grado de libertad.

De acuerdo con la segunda ley de Newton y el Principio de d'Alambert, aparece una pseudo fuerza inercial, la cual tiene la finalidad de situar el sistema en su condición de equilibrio dinámico, y con una magnitud mẍ(t). La ecuación de equilibrio dinámico se define como:

$$m\ddot{x}(t) + k\left(\bar{x} + x(t)\right) = mg + \bar{F} + \left[P(t)\right] \tag{3.2}$$

Por lo tanto:

$$k\bar{x} + \left[m\ddot{x}(t) + kx(t)\right] = mg + \bar{F} + \left[P(t)\right] \tag{3.3}$$

Por lo que podemos deducir que:

$$m\ddot{x}(t) + kx(t) = P(t) \tag{3.4}$$

Entonces el desplazamiento estático, despreciando la fuerza de gravedad es,

$$k\bar{x} = \bar{F} \tag{3.5}$$

Por lo tanto, se infiere que la condición de equilibrio de un sistema elástico lineal se puede dividir en dos partes, la primera en donde no existen variaciones de tiempo (la parte estática) y la segunda en donde se incorpora una carga dinámica y donde la fuerza debido a la aceleración instantánea del sistema es representada por la fuerza inercial que actúa en la dirección contraria al movimiento.

## 3.3 FUERZA DEL VIENTO EN DIRECCIÓN LONGITUDINAL

Podemos expresar la velocidad del viento en la dirección longitudinal como:

$$U(Z,t)=\left[\overline{U}(Z)+u(Z,t)\right] \tag{3.6}$$

Donde $\overline{U}$ (Z) es la velocidad media del viento medida a una altura Z sobre el terreno, y u (Z,t) es la componente de la turbulencia del viento en la dirección horizontal.

Si consideramos que el oscilador se desplaza debido a la acción del viento, una magnitud x (Z,t), entonces su velocidad es igual a $\dot{x}$ (Z,t).

La velocidad del viento relativa a la estructura es:

$$U_R(Z,t)=U(Z,t)-\dot{x}(Z,t)=\left[\overline{U}(Z)+u(Z,t)\right]-\dot{x}(Z,t) \tag{3.7}$$

Es decir, el vector velocidad relativa del viento en un punto, es la diferencia entre la velocidad del viento y la velocidad del oscilador debido a la acción del viento como se muestra en la figura 3.3.

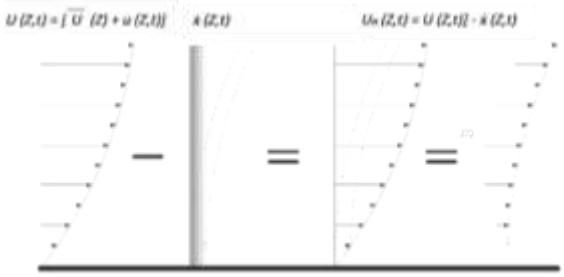


Figura 3.3 Velocidad relativa del viento con respecto a la velocidad de la estructura.

Los efectos locales de la carga debido a la acción del viento, también conocida como presión dinámica, q(Z,t), en (N/m$^2$), según la ley de Bernoulli son:

$$q(Z,t)=\frac{1}{2}\rho\left[U_R(Z,t)\right]^2 \tag{3.8}$$

Donde ρ (kg/m3) es la densidad del viento.

La fuerza de arrastre del viento que repercute por unidad de área perpendicular a la dirección del viento $P_D$ (Z,t) en (N) es:

$$P_D(Z,t)=\frac{1}{2}\rho C_D A\left[U_R(Z,t)\right]^2 \tag{3.9}$$

Donde: A (m$^2$) es el área y $C_D$ es el coeficiente de arrastre (adimensional) y depende de factores como la velocidad del viento, entre otros

## 3.4 ECUACIÓN DE MOVIMIENTO DE UNA ESTRUCTURA

Podemos escribir la fuerza del viento sobre una estructura como una versión modificada de la ecuación de Morison, (Goode, 2007), como se muestra a continuación:

$$P_D(Z,t) = \frac{1}{2}\rho C_D A U_R(Z,t)\left|U_R(Z,t)\right| \tag{3.10}$$

Y la ecuación de movimiento se escribe:

$$m\ddot{x}(t) + 2\xi_s\omega_1 m\dot{x}(t) + kx(t) = \frac{1}{2}\rho C_D A U_R(Z,t)\left|U_R(Z,t)\right| \tag{3.11}$$

## 3.5 SIMULACIÓN NÚMERICA DEL VIENTO

Las simulaciones del viento se llevaron a cabo por medio de un programa realizado en MATLAB para osciladores de un grado de libertad. El programa fue realizado para la tesis de maestría "Comportamiento no lineal ante cargas sísmicas y eólicas en estructuras, Luis Enrique Uribe Guerrero". De esta manera se obtuvieron las simulaciones de fuerza en un tiempo de 800 segundos, utilizando los 600 segundos intermedios, lo cual equivale a una simulación de 10 minutos, con las cuales se cargaron los modelos matemáticos mostrados en el capítulo dos de este trabajo.
La figura 3.6 muestra la interface del programa, cabe mencionar que se utilizaron los datos de temperatura (τ), presión barométrica (Λ) y latitud del estado de guerrero para un terreno categoría 3 según lo estipulado en el MDOC Diseño por viento, las cuales son 27.9°C, 758.4 mm/Hg y 16.84 para la temperatura, presión barométrica y latitud respectivamente.

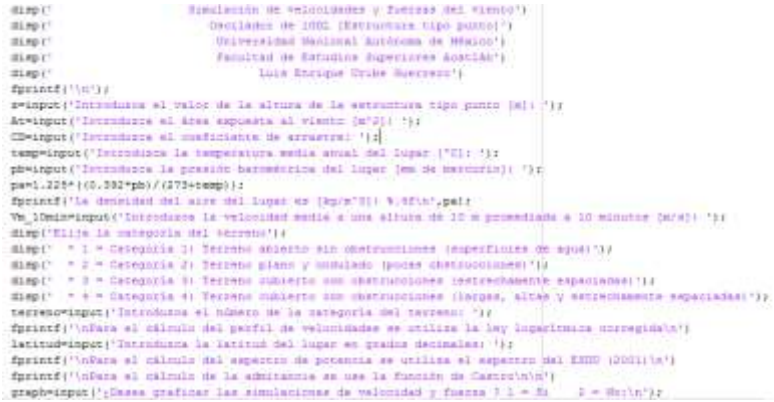



Figura 3.6 Interface y datos de entrada para simulaciones de osciladores con un grado de libertad.

El análisis se realizó para velocidades medias que van de los 5 m/s hasta los 40 m/s en aumentos de 5 m/s, a continuación, se muestran las simulaciones de velocidad y fuerza para el "Letrero 1" con una velocidad media de 25 m/s a una altura de 27.60 m, la cual es la altura en el centro de la cartelera.

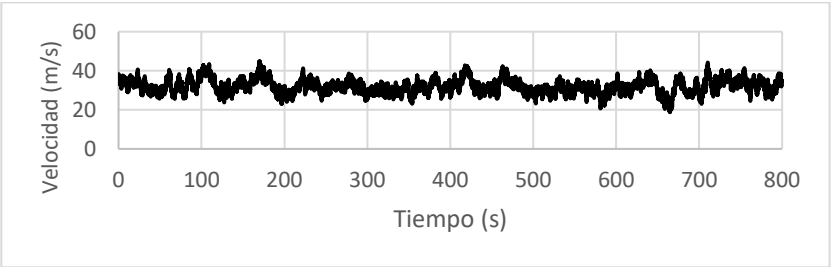


Figura 3.7 Simulación de velocidades.

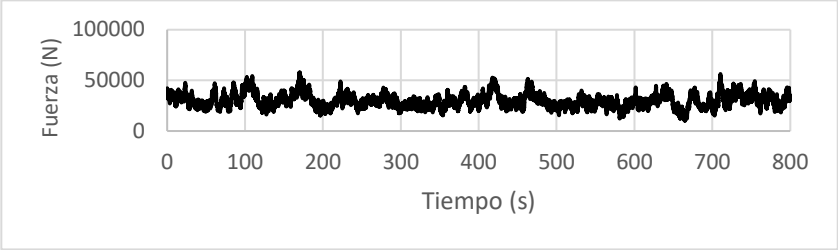



Figura 3.8 Simulación de fuerzas.

Las simulaciones del viento tiempo-historia generan valores desde el comienzo de la simulación, es por eso que, si al anuncio se le aplican las cargas del inicio de la simulación, se tendrá una respuesta dinámica mayor de la esperada debido a la aparición inmediata de estas fuerzas, es por eso que es necesaria una función de filtro la cual simule el crecimiento gradual de las acciones del viento.
La figura 3.9 muestra la función utilizada para filtrar las simulaciones de viento, mientras que la figura 3.10 presenta la simulación filtrada.

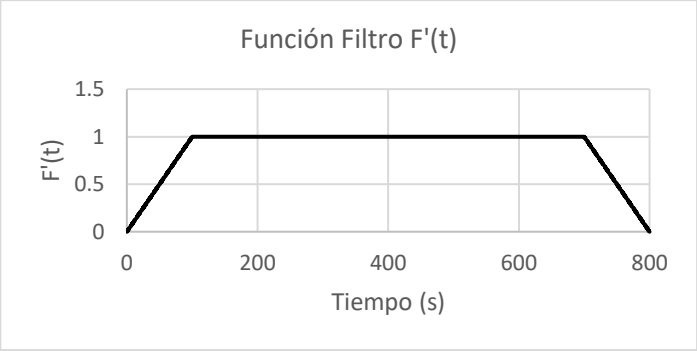



Figura 3.9 Función Filtro F'(t).

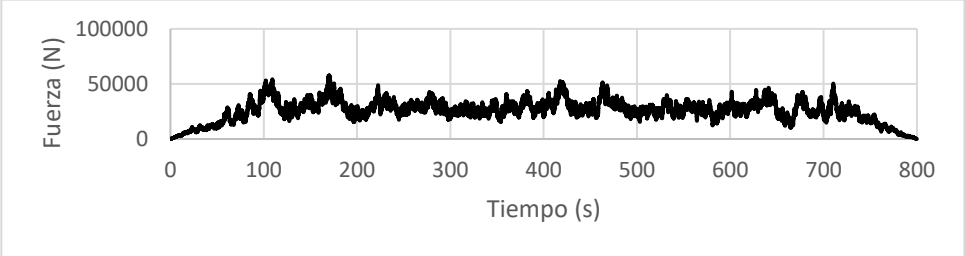



Figura 3.10 Simulación filtrada.

## 3.6 MÉTODO DE MODELACIÓN DE SEÑALES NUMÉRICAS

Los modelos matemáticos realizados para el análisis de las cargas eólicas se llevaron a cabo por medio del programa SAP 2000 V14, mediante el uso de historias en el tiempo, a continuación, se muestra paso a paso la aplicación de las mismas al denominado “Letrero 1”.

Una vez realizado el modelo, se procede con la aplicación de las señales del viento, en primer lugar, crearemos los patrones de carga necesarios para aplicar la acción del viento, en este caso se utilizaron 5 patrones para el tubo postes y 15 para la zona de la cartelera, para crearlos nos vamos al menú Define-Load Patterns (ver figura 3.11). Con los patrones ya creados, es necesario aplicar una carga unitaria a cada uno de los nodos donde serán asignadas las señales numéricas, la carga unitaria es necesaria para evitar influir en la señal al ser aplicada, para llevar a cabo esto seleccionamos el nodo al cual queremos asignar la carga y nos dirigimos al menú Assingn-Joint Loads-Forces y asignamos la carga al patrón creado con anterioridad, el proceso se puede observar en la figura 3.12.

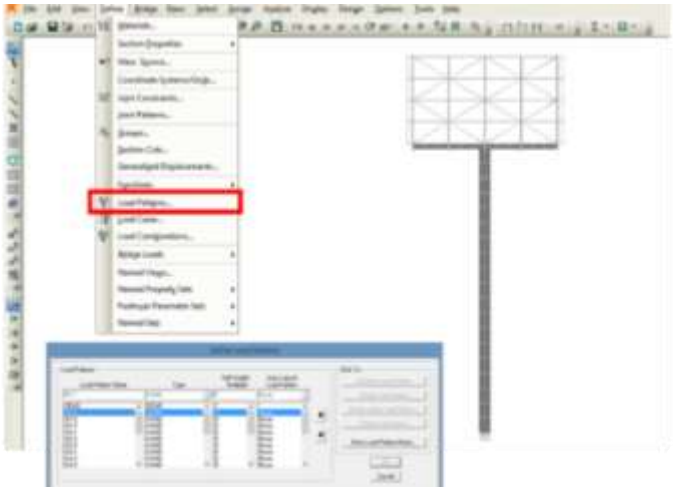


Figura 3.11 Definición de los patrones de carga.

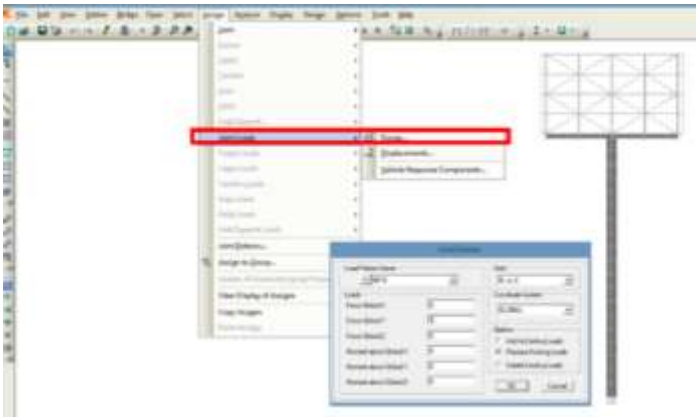


Figura 3.12 Asignación de las cargas unitarias.

Con los patrones de caga creados y la carga unitaria asignada en cada uno de los nodos donde se aplicará la señal de viento, procedemos a crear las historias en el tiempo necesarias para cada nodo, esto se logra desde el menú Define-Functions-Time History. Es necesario crear la función desde un archivo de texto en el cual se enlisten todos los valores de la señal, el siguiente paso es crear la señal asignando el archivo de texto correspondiente a los datos de la función a crear (ver figura 3.13).

Figura 3.13 Creación de la historia en el tiempo.

Por último, nos dirigimos al menú Define-Load Cases, aquí nos mostrara una ventana emergente en la cual aparecen todos los patrones de carga creados con anterioridad para cada uno de los nodos en los que aplicaremos las señales de viento.

A partir de aquí es necesario agregar un nuevo caso de carga en el cual se asignarán las historias en el tiempo. Lo primero es seleccionar el tipo de caso de carga (Time History), con esto, nos mostrará un cambio en la venta en el cual podemos ver las cargas a aplicar, seleccionamos la carga como un patrón, después elegiremos cada uno de los patrones de carga creados para los nodos que someteremos a las cargas eólicas, además, seleccionamos la función correspondiente a cada uno de los mismos, con un factor de 1 para no influir en la señal creada con anterioridad.

Finalmente, agregamos el número de datos que tendrá la señal, para efecto de este estudio se usarán 16 000 datos en intervalos de 0.05, lo cual nos dará un tiempo de 800 segundos a cada 0.05 segundos, (ver figura 3.14).

Figura 3.14 Creación del caso de carga para incluir las historias en el tiempo en los nodos correspondientes.

## 3.7 RESPUESTA ANTE LA ACCIÓN DEL VIENTO

Para conocer la respuesta de los anuncios ante la acción del viento, se realizaron 4 modelos matemáticos con ciertas diferencias, mismos que fueron descritos en el capítulo 2 de este trabajo, los cuales fueron sometidos a excitaciones que varían con el tiempo.

Se utilizaron una serie de simulaciones para cada letrero, el tubo poste fue cargado con 5 simulaciones en nodos específicos a lo largo de toda su longitud, por otro lado, para la zona de la cartelera se emplearon dos simulaciones las cuales se distinguieron por el área de contacto con la que cuenta cada una. Cabe mencionar que todas las simulaciones fueron aplicadas por medio de una historia en el tiempo, para velocidades medias que van desde los 5 m/s hasta los 40 m/s en incrementos de 5m/s.

### 3.7.1 Respuesta del "Letrero 1"

El primer modelo matemático denominado "Letrero 1", descrito en el capítulo 2, es el anuncio unipolar donde el tubo poste coincide con el centro de la cartelera, la figura 3.15 muestra el anuncio unipolar con las simulaciones utilizadas para representar las acciones del viento con variaciones en el tiempo para una velocidad media de 25 m/s.

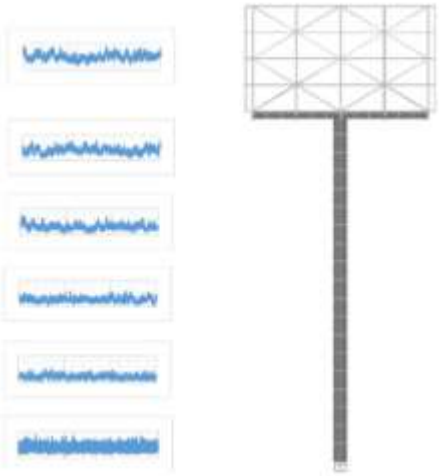


Figura 3.15 Excitaciones con variación en el tiempo actuantes en el "Letrero 1".

Se resume la respuesta de tres nodos de la cartelera, el primero llamado "nodo 42" ubicado al centro de la armadura del extremo izquierdo, el "nodo 54", el cual se encuentra en el medio de la armadura central del anuncio, y el "nodo 66" localizado en la parte central de la armadura derecha (ver figura 3.16).

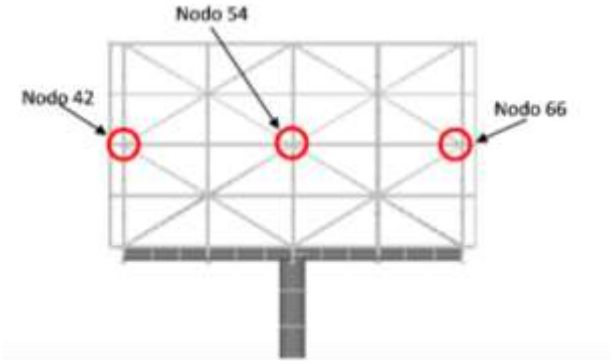



Figura 3.16 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del "Letrero 1".

Las figuras 3.17 a 3.19 muestran los desplazamientos, velocidades y aceleraciones de los tres nodos antes mencionados, para una velocidad media de 25 m/s. Tomando estos tres nodos como representativos de la manera en que va a responder la cartelera del anuncio unipolar ante las excitaciones con variaciones de tiempo a las que fue sometido, tomando únicamente los 600 segundos intermedios de la señal filtrada.

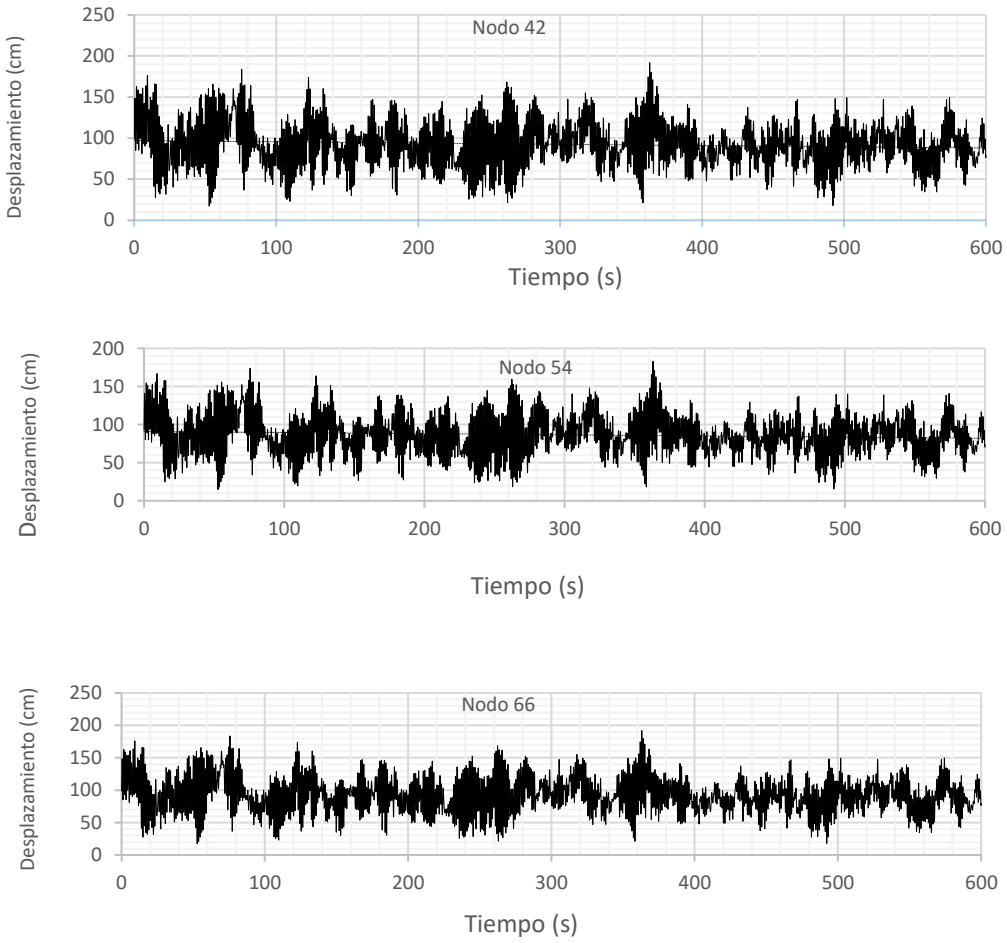



Figura 3.17 Desplazamientos correspondientes a los nodos 42, 54 y 66 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación "Letrero 1"

Las velocidades de la respuesta en los nodos representativos del letrero se muestran en la figura 3.18, la cual muestra el cambio que sufre el nodo durante un tiempo de 10 minutos causado por las simulaciones de viento a las que fue sometida la estructura.

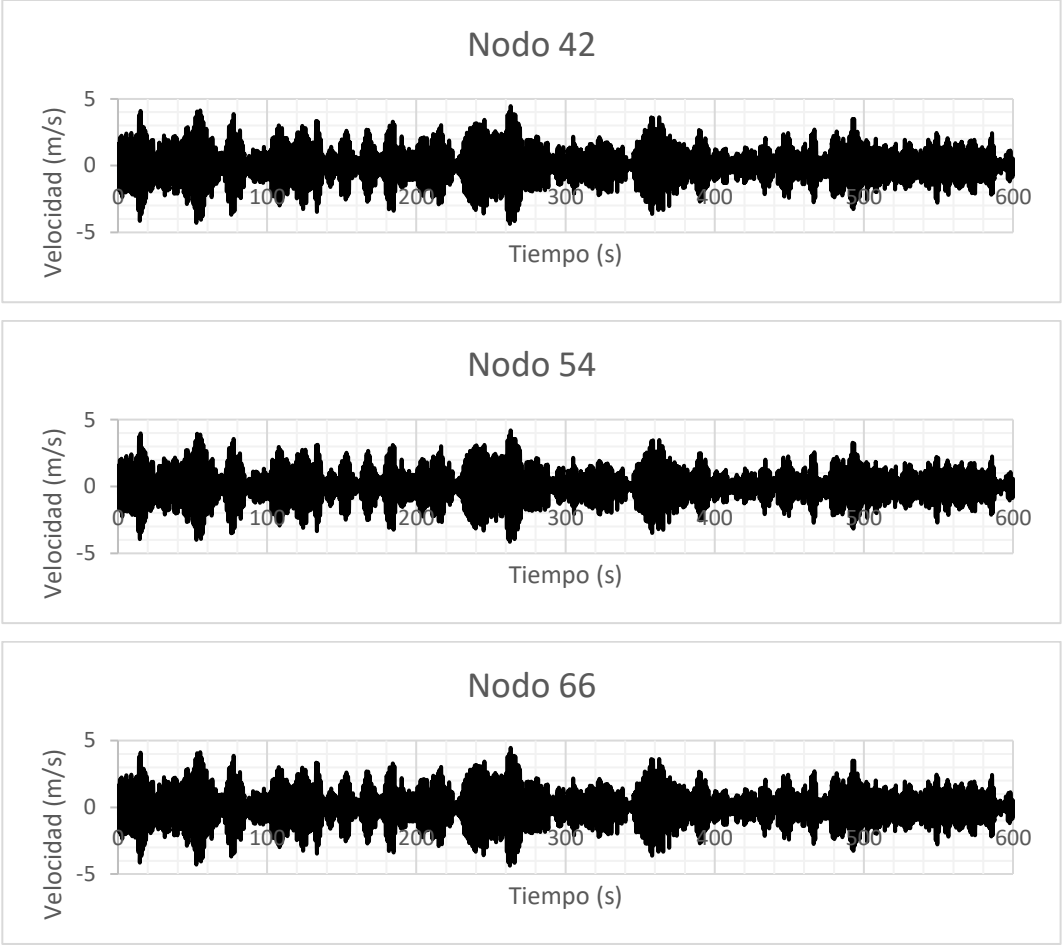



Figura 3.18 Velocidades correspondientes a los nodos 42, 54 y 66 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación “Letrero 1”.

Por otro lado, las aceleraciones se muestran en la figura 3.19, las cuales representan la respuesta de los nodos mencionados anteriormente.

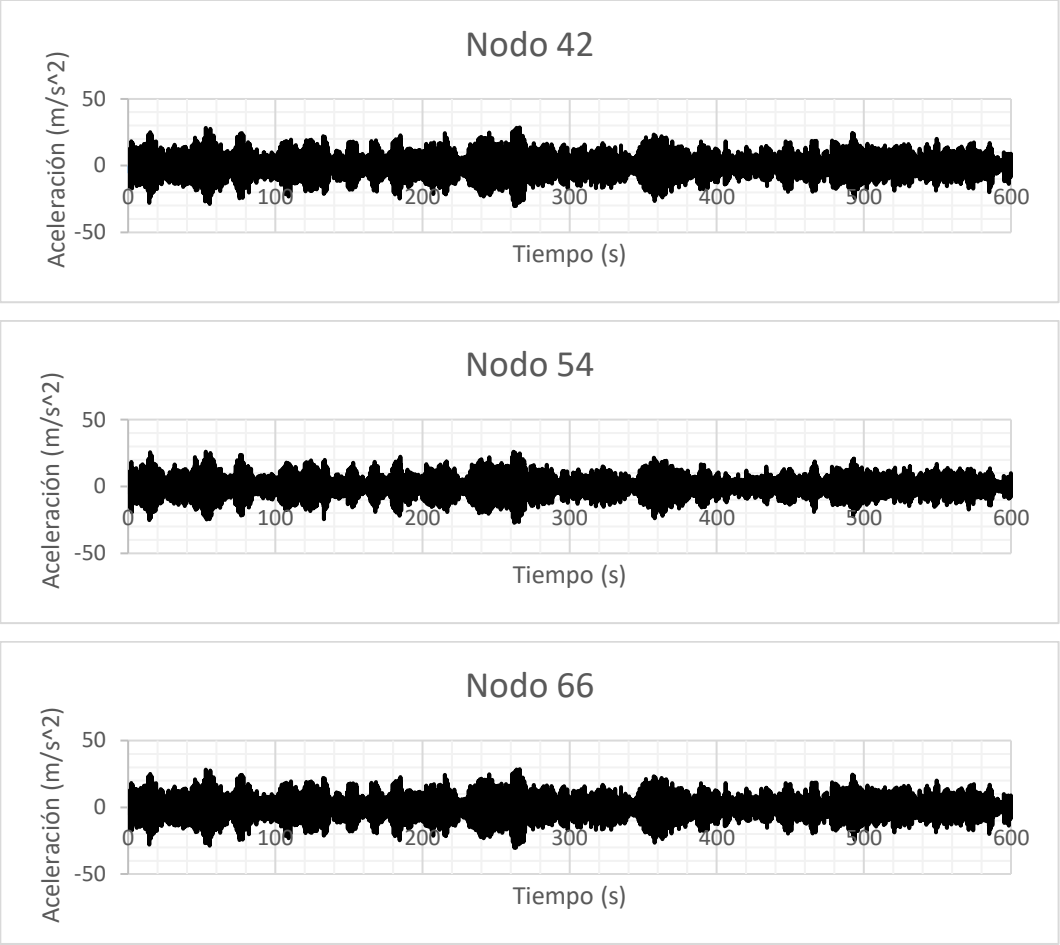



Figura 3.19 Aceleraciones correspondientes a los nodos 42, 54 y 66 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación "Letrero 1".

Como podemos observar, en los nodos 42 y 66, se tiene la misma respuesta debido a la simetría con la que cuenta el letrero, por otro lado, el nodo 54 cambia debido a la posición del tubo poste el cual está debajo de la armadura donde se encuentra dicho nodo.

En la figura 3.20 se muestra de manera gráfica el comportamiento de los nodos elegidos para conocer la respuesta del anuncio, exponiendo los desplazamientos referidos en la tabla 3.1. Cabe mencionar que el dato del desplazamiento se obtuvo en el instante de tiempo el cual se localiza el máximo valor para cada una de las velocidades.

Tabla 3.1 Desplazamientos de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 6.4955 | 6.1753 | 6.4955 |
| 10 | 28.5487 | 27.1031 | 28.5487 |
| 15 | 66.3505 | 62.915 | 66.3505 |

Continua Tabla 3.1 Desplazamientos de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 20 | 119.1362 | 112.7052 | 119.1362 |
| 25 | 192.0031 | 183.2984 | 192.0031 |
| 30 | 276.202 | 262.7036 | 276.202 |
| 35 | 418.385 | 399.2779 | 418.385 |
| 40 | 568.5756 | 537.9111 | 568.5756 |

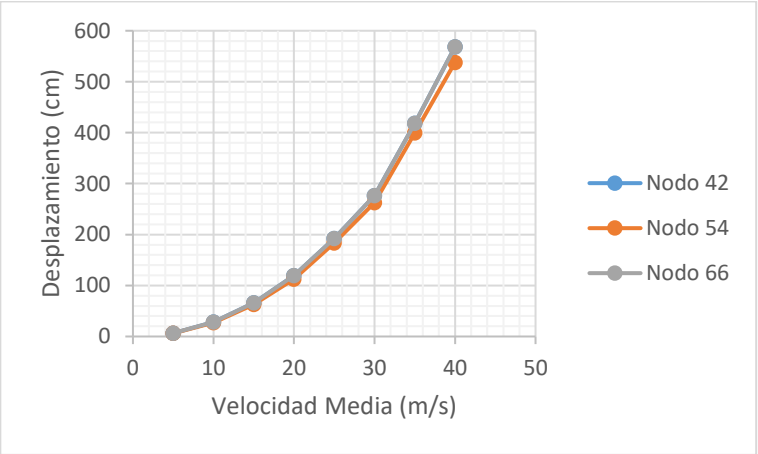



Figura 3.20 Desplazamientos de nodos representativos en el “Letrero 1”.

En la tabla 3.2 se muestran las velocidades obtenidas en el periodo de tiempo donde se encuentra el máximo, estos datos se muestran de manera gráfica en la figura 3.21, en la cual se observa el incremento que se tienen con el cambio de la velocidad media.

Tabla 3.2 Velocidades de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Velocidad | | |
| m/s | m/s | m/s | m/s |
| 5 | 0.0669 | 0.0636 | 0.0669 |
| 10 | 0.4751 | 0.4536 | 0.4751 |
| 15 | 1.1548 | 1.1295 | 1.1548 |
| 20 | 2.1746 | 2.0821 | 2.1746 |
| 25 | 4.4615 | 4.2036 | 4.4615 |
| 30 | 5.7518 | 5.4911 | 5.7518 |
| 35 | 11.3532 | 10.5926 | 11.3532 |
| 40 | 13.5384 | 12.2984 | 13.5384 |

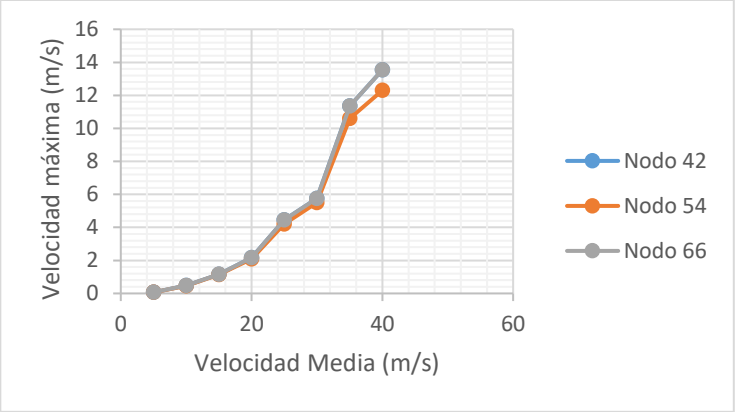



Figura 3.21 Velocidades de nodos representativos en el “Letrero 1”.

De igual manera, se consideraron las aceleraciones máximas de la respuesta para los nodos 42, 54 y 66 que se muestran en la tabla 3.3, en la cual se muestra la variación que se tiene debido al incremento en la velocidad media.

Tabla 3.3 Aceleraciones de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Aceleración | | |
| m/s | m/s$^2$ | m/s$^2$ | m/s$^2$ |
| 5 | 0.41497 | 0.38725 | 0.41497 |
| 10 | 2.80408 | 2.85068 | 2.80408 |
| 15 | 8.33552 | 7.12988 | 8.33552 |
| 20 | 14.55784 | 13.00722 | 14.55784 |
| 25 | 28.59551 | 26.08249 | 28.59551 |
| 30 | 49.74692 | 36.73493 | 49.74692 |
| 35 | 68.27131 | 68.35548 | 68.27131 |
| 40 | 111.79267 | 90.14256 | 111.79267 |

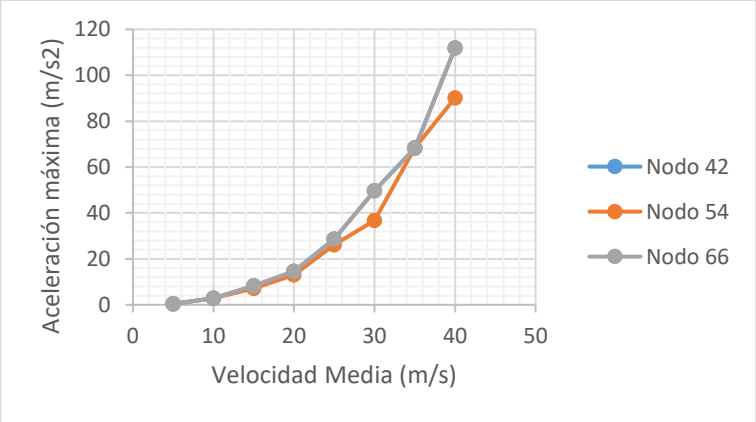



Figura 3.22 Aceleraciones de nodos representativos en el “Letrero 1”.

### 3.7.2 Respuesta del "Letrero 2"

El segundo modelo analítico se le nombro como "Letrero 2", mencionado en el capítulo 2 y explicadas sus características en el mismo, se trata de un anuncio unipolar donde el tubo poste está colocado a un extremo de la cartelera, en la figura 3.23 podemos ver de manera gráfica el anuncio unipolar con las simulaciones utilizadas que representan las acciones del viento con variaciones en el tiempo para una velocidad media de 25 m/s.

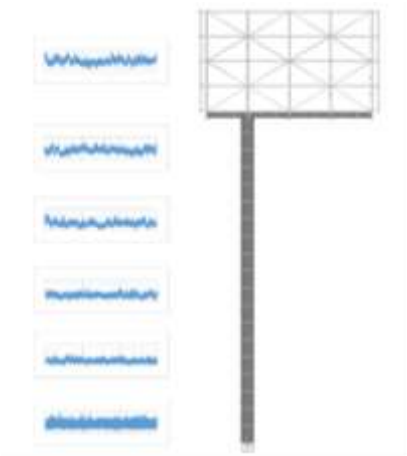


Figura 3.23 Excitaciones con variación en el tiempo actuantes en el "Letrero 2".

De igual manera que en el "Letrero 1", se eligieron tres nodos como los representativos de la respuesta de la cartelera, los nodos se encuentran ubicados en las mismas secciones que en el "Letrero 1", con la diferencia de la posición del tubo poste, el cual se localiza en un extremo de la cartelera. Los nodos fueron nombrados al igual que en el anterior, "nodo 42", al nodo que se localiza en la parte izquierda del anuncio, "nodo 54" al ubicado en la parte central y "nodo 66" al del extremo derecho (ver figura 3.24).

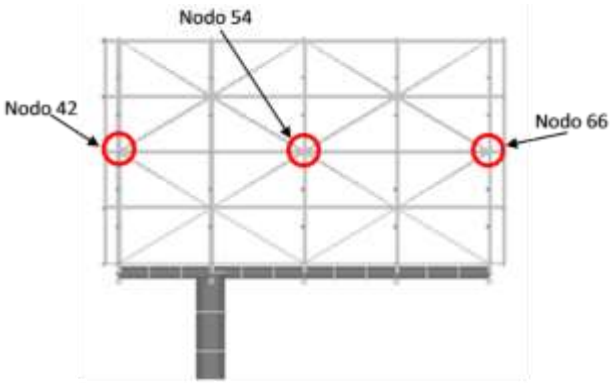



Figura 3.24 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del "Letrero 2".

La respuesta de los nodos mencionados con anterioridad se observa en las figuras 3.25 a 3.27, para una velocidad media de 25 m/s. Estos nodos fueron tomados como representación del comportamiento que se tendrá en la zona de la cartelera mientras ocurre la excitación con duración de 10 minutos.

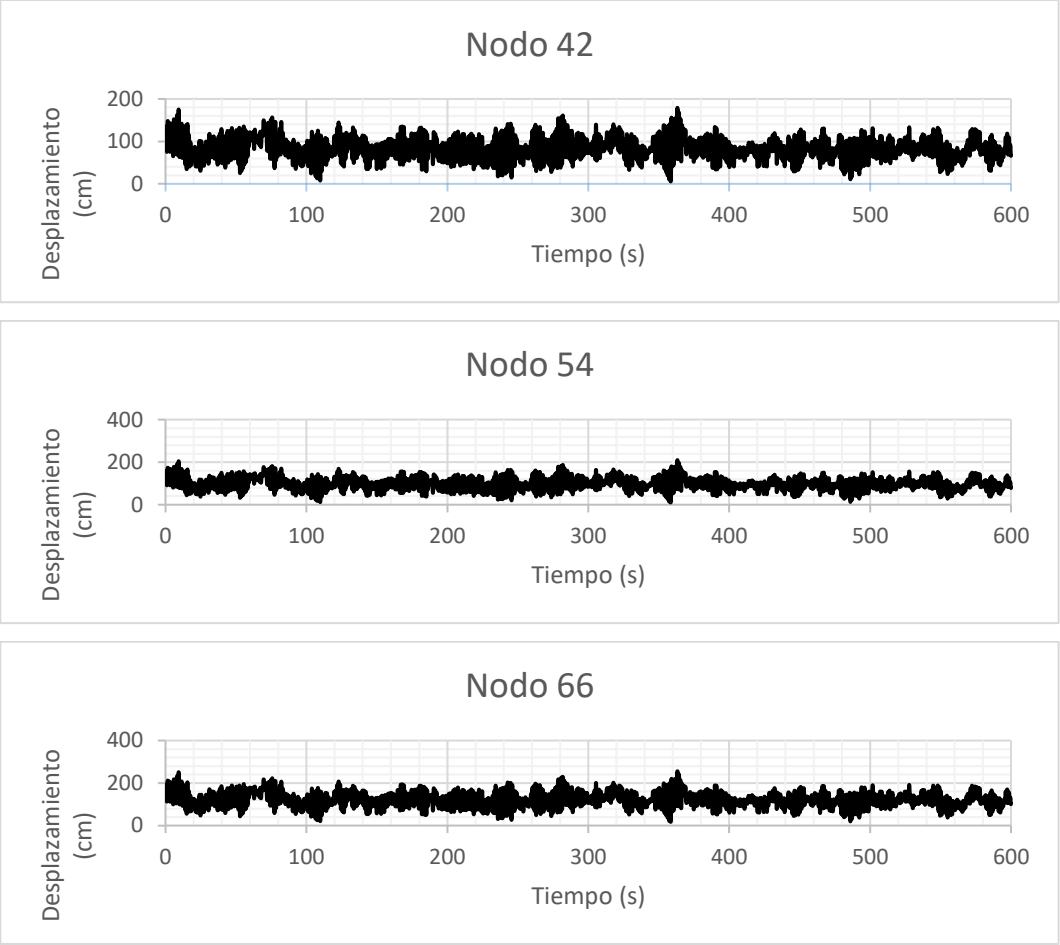



Figura 3.25 Desplazamientos correspondientes a los nodos 42, 54 y 66 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación "Letrero 2".

La figura 3.26 presenta las velocidades de los nodos representativos ante la acción del viento. La duración de las simulaciones a las que la estructura es sometida es de 10 minutos, y son obtenidas con una velocidad media de 25 m/s.

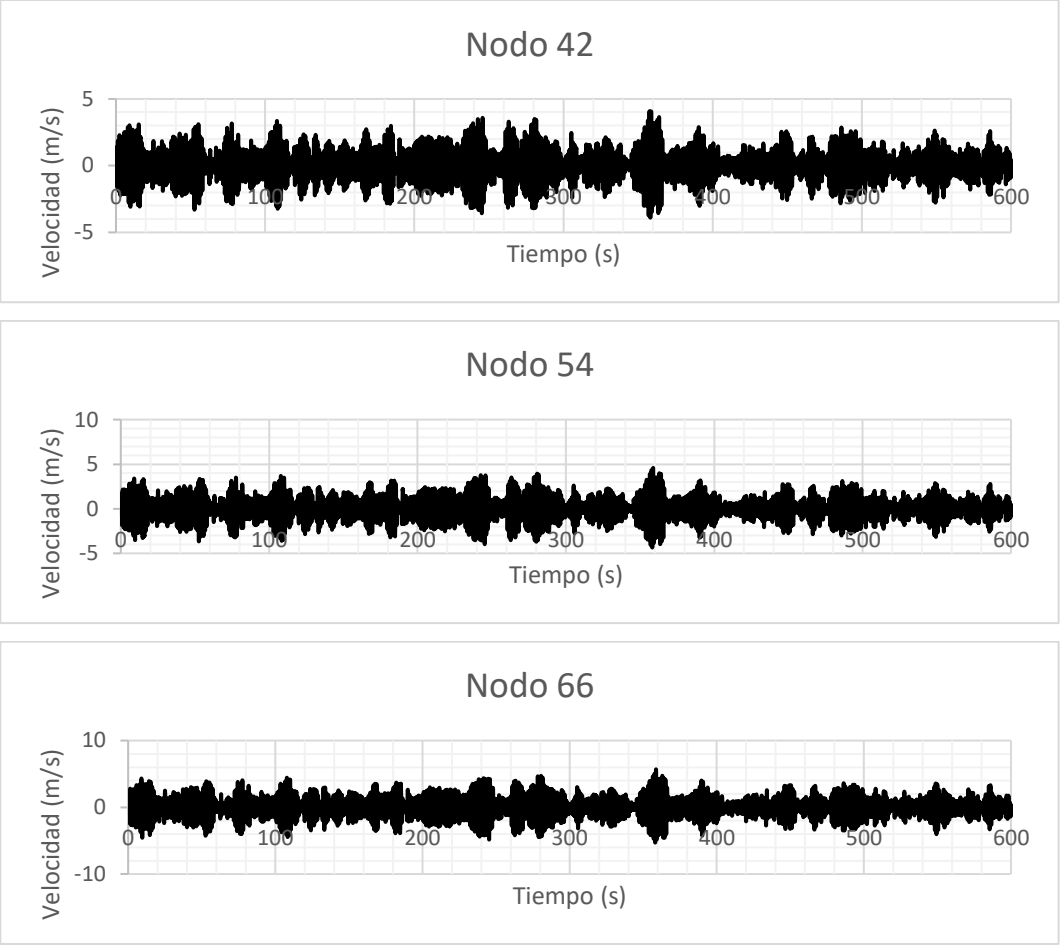



Figura 3.26 Velocidades correspondientes a los nodos 42, 54 y 66 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación “Letrero 2”.

Del mismo modo, las aceleraciones de los nodos 42, 54 y 66 son mostradas en la figura 3.27, al igual que en las figuras 3.25 y 3.26, se muestra la respuesta durante un periodo de 10 minutos.

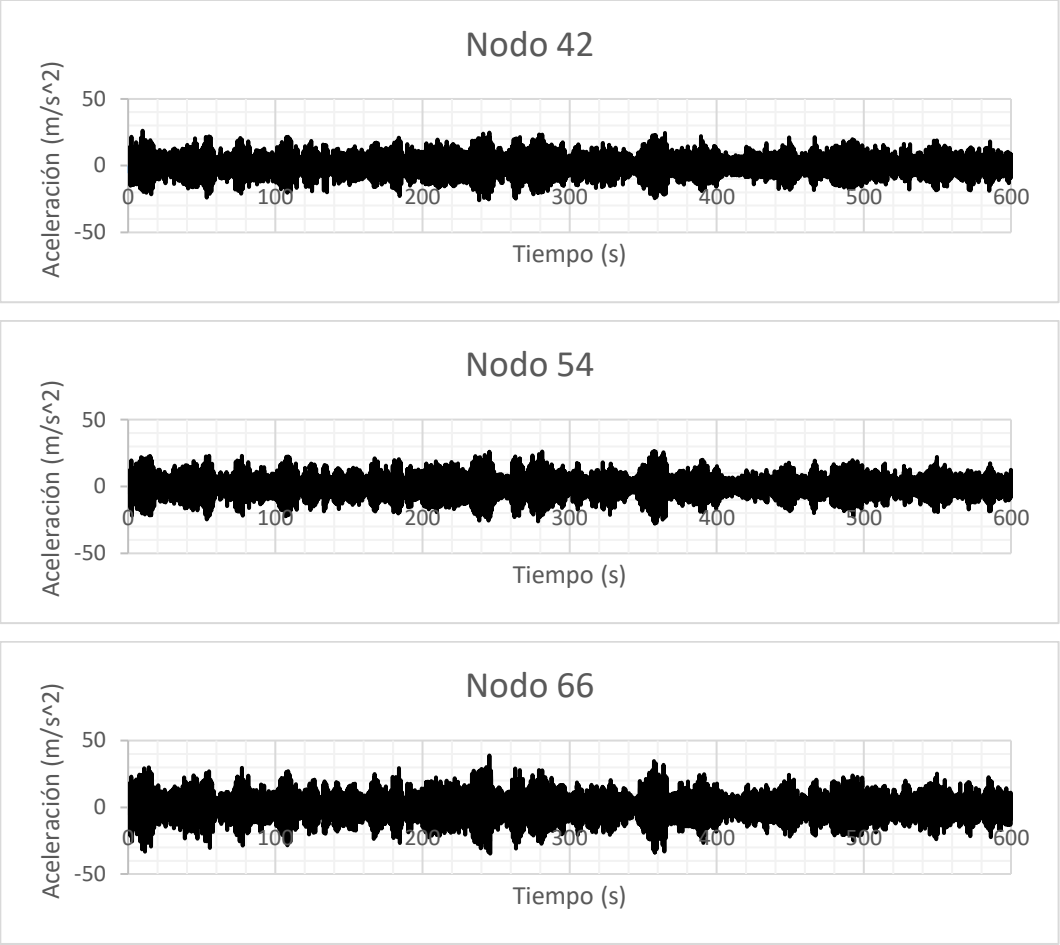



Figura 3.25 Aceleraciones correspondientes a los nodos 42, 54 y 66 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación "Letrero 2".

En la tabla 3.4 se muestran los desplazamientos en los nodos 42, 54 y 66, podemos ver como la posición del poste afecta los desplazamientos, siendo el nodo 42 el más cercano al tubo de apoyo el que tiene menos desplazamientos y con forme se van alejando los nodos del soporte los desplazamientos incrementan.

En la figura 3.28 podemos ver de manera gráfica el cómo los desplazamientos crecen mientras los nodos se alejan del tubo de soporte. Al igual que en "Letrero 1" el instante de tiempo que se utilizó para obtener los valores es el que corresponde al máximo.

Tabla 3.4 Desplazamientos de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 5.963 | 7.0318 | 8.5834 |
| 10 | 26.8308 | 31.7 | 38.6885 |
| 15 | 55.4282 | 65.1131 | 81.0661 |
| 20 | 112.9112 | 131.4318 | 161.0092 |

Continua Tabla 3.4 Desplazamientos de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 25 | 178.9041 | 209.812 | 255.9102 |
| 30 | 250.2616 | 294.5701 | 359.3153 |
| 35 | 402.6693 | 467.478 | 566.3631 |
| 40 | 485.7954 | 566.6535 | 689.768 |

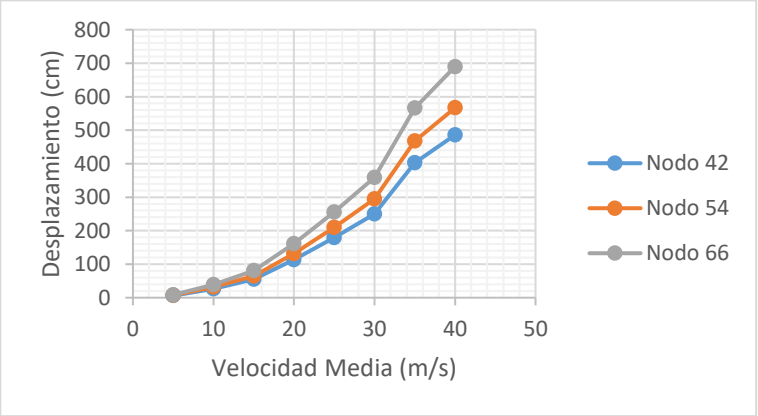



Figura 3.28 Desplazamientos de nodos representativos en el “Letrero 2”.

La tabla 3.5 contiene las velocidades adquiridas en el intervalo correspondiente al máximo, mismas que se muestran gráficamente en la figura 3.29.

Tabla 3.5 Velocidades de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Velocidad | | |
| m/s | m/s | m/s | m/s |
| 5 | 0.0644 | 0.0722 | 0.0869 |
| 10 | 0.3576 | 0.4077 | 0.4843 |
| 15 | 0.9633 | 1.0938 | 1.3486 |
| 20 | 2.1881 | 2.5498 | 3.1376 |
| 25 | 4.0783 | 4.5864 | 5.6956 |
| 30 | 5.5295 | 5.8817 | 6.8399 |
| 35 | 10.8388 | 12.29 | 14.6594 |
| 40 | 11.5719 | 12.8426 | 15.9173 |

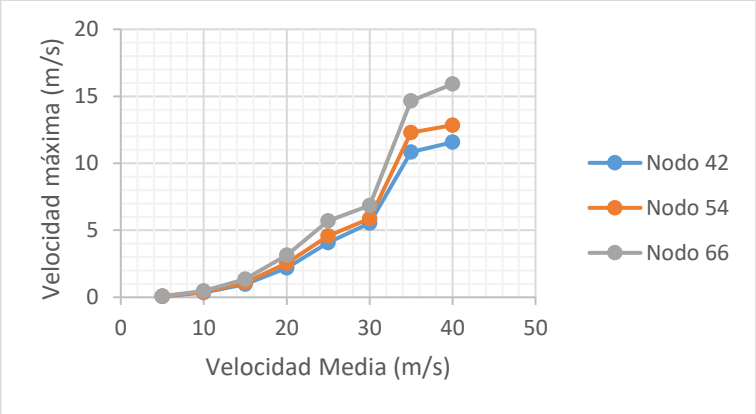



Figura 3.29 Velocidades de nodos representativos en el “Letrero 2”.

Las aceleraciones fueron obtenidas de la respuesta en el instante de tiempo donde se encuentra el máximo valor, para los nodos mencionados atrás, los resultados se encuentran en la tabla 3.6 y muestran el cambio en las aceleraciones con diferentes velocidades medias, mientras que en la figura 3.30 se exponen en forma gráfica.

Tabla 3.6 Aceleraciones de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Aceleración | | |
| m/s | $m/s^2$ | $m/s^2$ | $m/s^2$ |
| 5 | 0.38019 | 0.41593 | 0.5203 |
| 10 | 2.27402 | 2.43568 | 3.19055 |
| 15 | 7.35291 | 7.13872 | 9.2929 |
| 20 | 14.47408 | 15.23632 | 20.25793 |
| 25 | 26.15833 | 26.65351 | 38.84084 |
| 30 | 39.40755 | 38.49531 | 51.05064 |
| 35 | 68.42592 | 80.08484 | 87.29959 |
| 40 | 77.84617 | 102.30002 | 110.59197 |

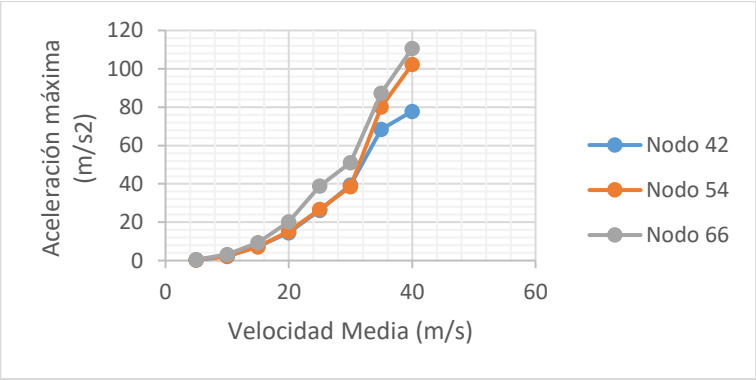



Figura 3.30 Aceleraciones de nodos representativos en el “Letrero 2”.

### 3.7.3 Respuesta del "Letrero 3"

Para el tercer análisis se realizó un modelo tridimensional denominado "Letrero 3", descrito detalladamente en el capítulo 2, este es un anuncio unipolar de tres vistas, al cual se le aplicaron simulaciones de viento como se observa en la figura 3.31, las simulaciones mostradas en la misma corresponden a una velocidad media de 25 m/s.

Figura 3.31 Excitaciones con variación en el tiempo actuantes en el "Letrero 3".

Al igual que los dos modelos anteriores, fueron seleccionados tres nodos de una de las tres carteleras como los representativos de la respuesta, los nodos se encuentran ubicados en las mismas secciones que en el "Letrero 1", solo que en esta ocasión el tubo poste está en el centro de las tres carteleras. En esta ocasión, llamaremos a los nodos, "nodo 139" para el extremo izquierdo, "nodo 145" al ubicado en el centro y "nodo 151" al del extremo derecho (ver figura 3.32).

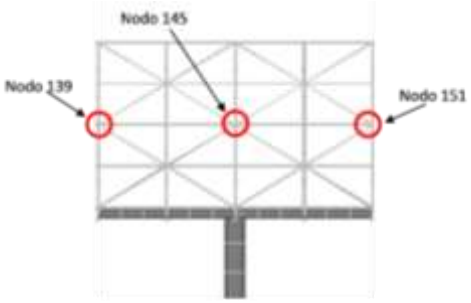



Figura 3.32 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del "Letrero 3".

En las figuras 3.33 a 3.35 tenemos la respuesta en los tres nodos descritos con anterioridad, donde para una velocidad media de 25 m/s, se muestran los desplazamientos, velocidades y aceleraciones respectivamente.

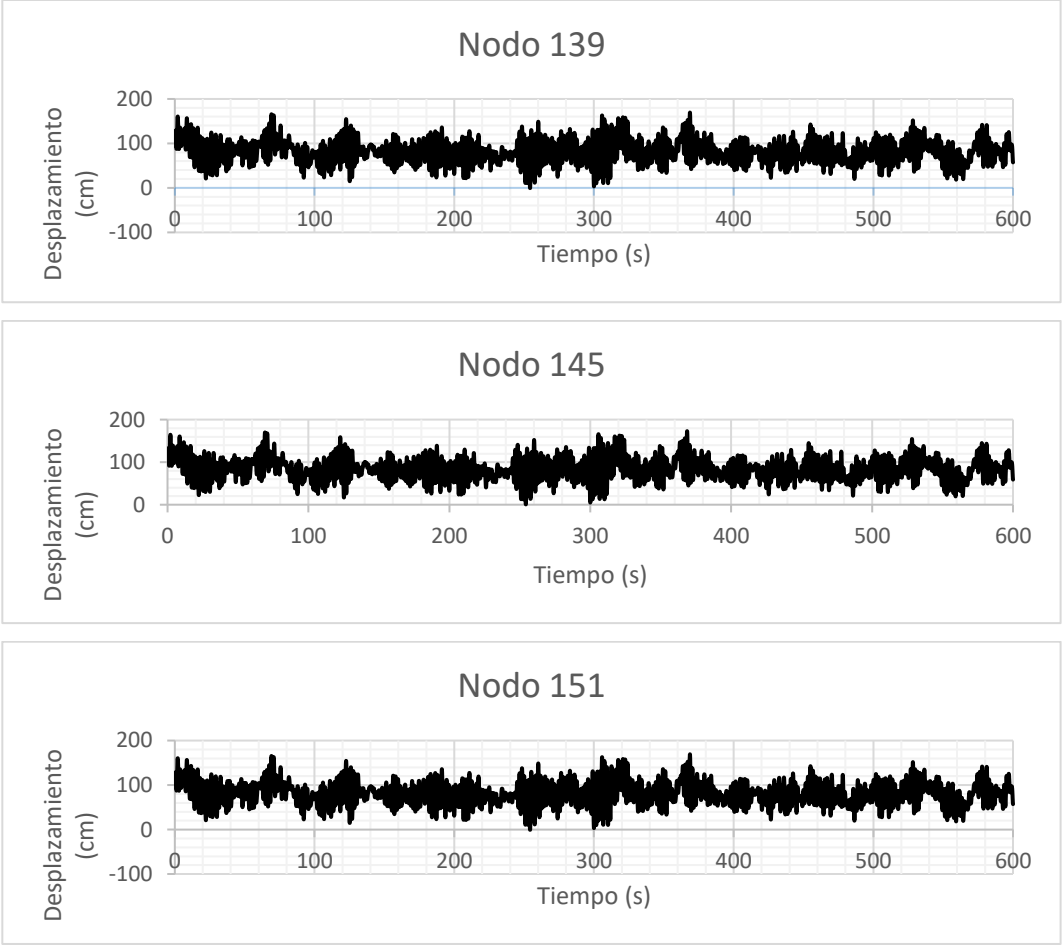



Figura 3.33 Desplazamientos correspondientes a los nodos 139, 145 y 151 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación “Letrero 3”.

A continuación, se muestran las velocidades en los nodos 139, 145 y 151 para una velocidad media de 25 m/s (ver figura 3.34). Es importante mencionar que el periodo de tiempo que dura la excitación es de 10 minutos.

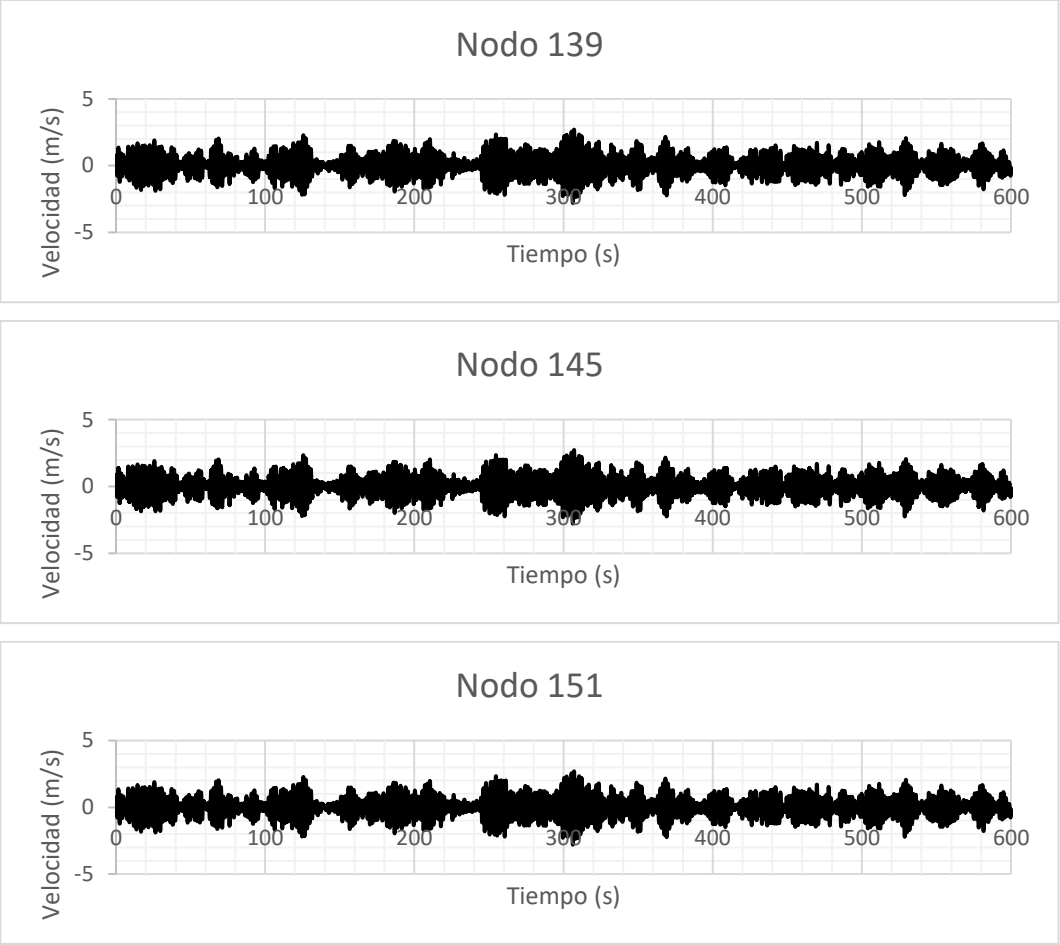



Figura 3.34 Velocidades correspondientes a los nodos 139, 145 y 151 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación “Letrero 3”.

Por último, tenemos las aceleraciones en los nodos durante un periodo de tiempo de 10 minutos y con una velocidad media de 25 m/s como se muestra en la figura 3.35.

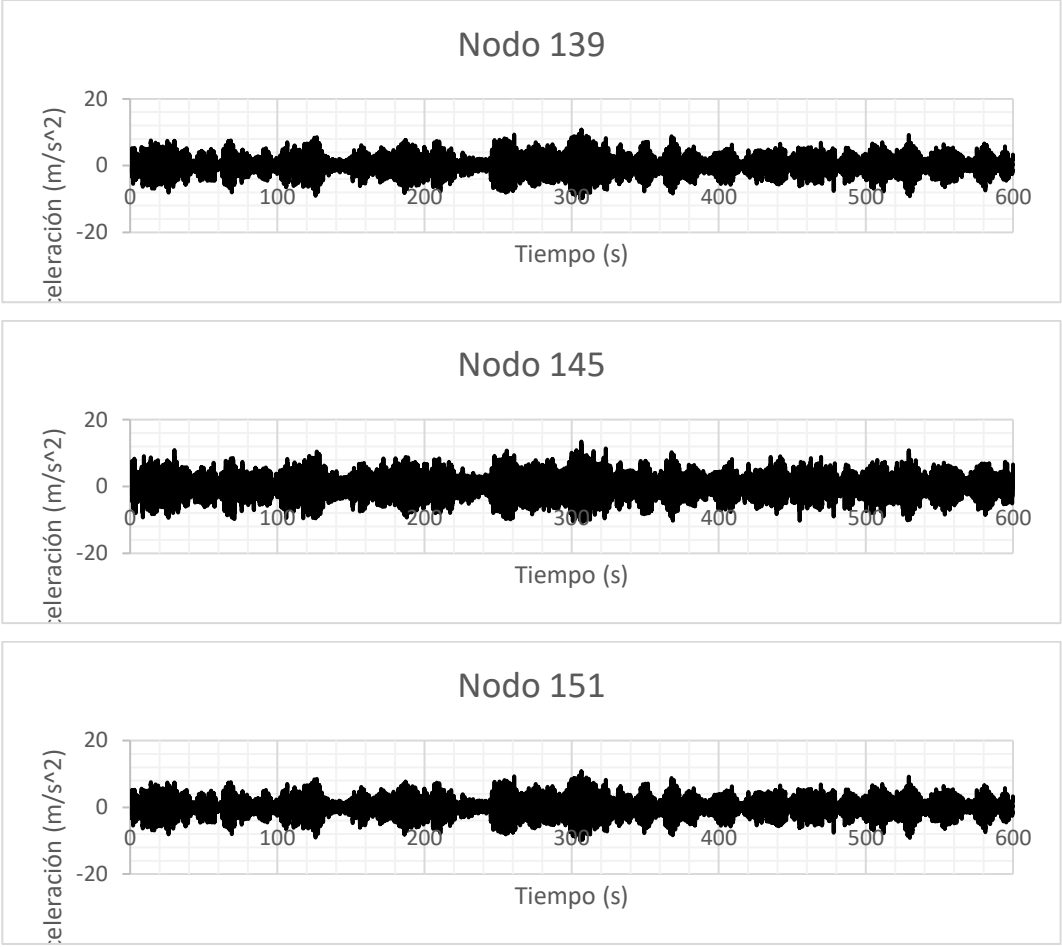



Figura 3.35 Aceleraciones correspondientes a los nodos 139, 145 y 151 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación "Letrero 3".

A diferencia de los anuncios unipolares anteriores, en este podemos notar que los cambios en los desplazamientos de los tres nodos representativos son mínimos, en la tabla 3.7 se muestran sus magnitudes para los nodos 139, 145 y 151. Por otro lado, la figura 3.36 es la representación gráfica de los mismos.

Es importante mencionar que el intervalo de tiempo que se utilizó para obtener los valores es el que corresponde al valor máximo de la respuesta, igual a los dos letreros anteriores.

Tabla 3.7 Desplazamientos de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 151 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 5.9374 | 6.0972 | 5.9374 |
| 10 | 27.5864 | 28.4709 | 27.5864 |
| 15 | 58.9195 | 60.4128 | 58.9195 |
| 20 | 123.3156 | 126.0891 | 123.3156 |

Continua Tabla 3.7 Desplazamientos de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 151 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 25 | 169.2077 | 173.1047 | 169.2077 |
| 30 | 274.4013 | 281.6805 | 274.4013 |
| 35 | 407.9868 | 417.0134 | 407.9868 |
| 40 | 484.763 | 494.6314 | 484.763 |

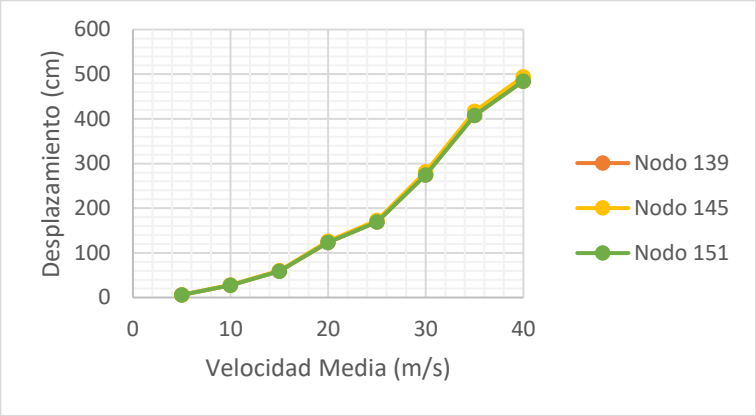



Figura 3.36 Desplazamientos de nodos representativos en el “Letrero 3”.

Las velocidades, al igual que los desplazamientos fueron obtenidas en el instante donde se encuentra el máximo, la tabla 3.8 muestra los resultados para las distintas velocidades medias.

Tabla 3.8 Velocidades de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 151 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Velocidad | | |
| m/s | m/s | m/s | m/s |
| 5 | 0.0556 | 0.0557 | 0.0556 |
| 10 | 0.3177 | 0.3198 | 0.3177 |
| 15 | 0.9194 | 0.9178 | 0.9194 |
| 20 | 1.4223 | 1.4506 | 1.4223 |
| 25 | 2.6993 | 2.7326 | 2.6993 |
| 30 | 3.6443 | 3.6678 | 3.6443 |
| 35 | 5.9657 | 6.0772 | 5.9657 |
| 40 | 8.2502 | 8.0578 | 8.2502 |

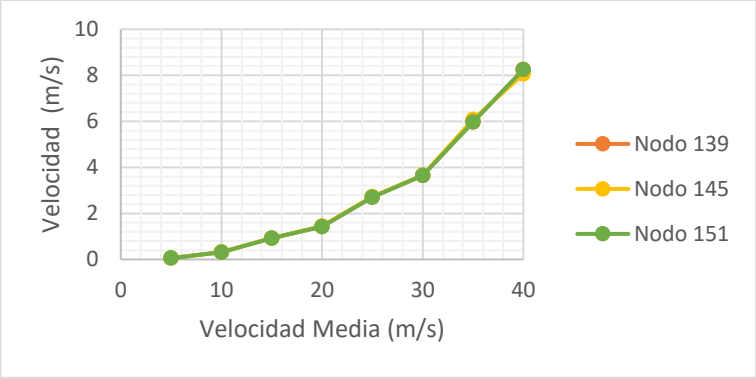



Figura 3.37 Velocidades de nodos representativos en el "Letrero 3".

Para las aceleraciones, el intervalo de tiempo donde se adquirieron los resultados fue en el mismo que la velocidad y el desplazamiento, tomando el intervalo donde se encuentra la respuesta máxima para cada velocidad. La figura 3.38 muestra gráficamente el comportamiento de las aceleraciones en los tres nodos representativos.

Tabla 3.9 Aceleraciones de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 151 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Aceleración | | |
| m/s | m/s$^2$ | m/s$^2$ | m/s$^2$ |
| 5 | 0.2296 | 0.234 | 0.2296 |
| 10 | 1.22473 | 1.2557 | 1.22473 |
| 15 | 3.39567 | 3.51417 | 3.39567 |
| 20 | 5.83054 | 7.23493 | 5.83054 |
| 25 | 10.80468 | 13.46808 | 10.80468 |
| 30 | 14.12092 | 17.13367 | 14.12092 |
| 35 | 25.18064 | 29.35984 | 25.18064 |
| 40 | 33.78473 | 42.49883 | 33.78473 |

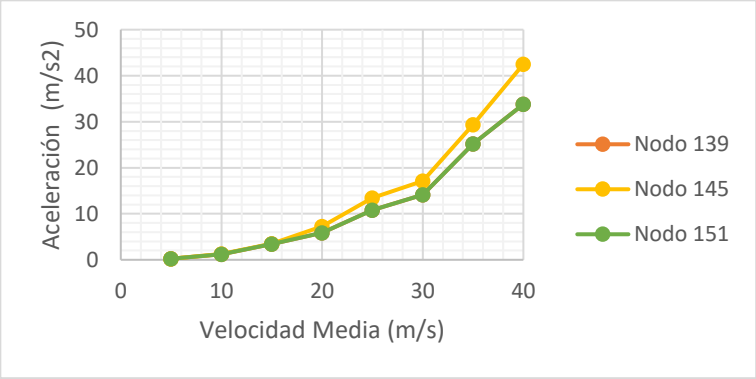


Figura 3.38 Aceleraciones de nodos representativos en el “Letrero 3”.

### 3.7.4 Respuesta del “Letrero 4”

Por último, tenemos el nombrado “Letrero 4”, este tiene las mismas características del “Letrero 1” solo con la diferencia de la longitud del tubo que sirve de soporte, haciendo que el “Letrero 4” tenga una altura mayor. En la figura 3.39 podemos ver el anuncio unipolar con las simulaciones utilizadas para representar las acciones del viento con variaciones en el tiempo para una velocidad media de 25 m/s.

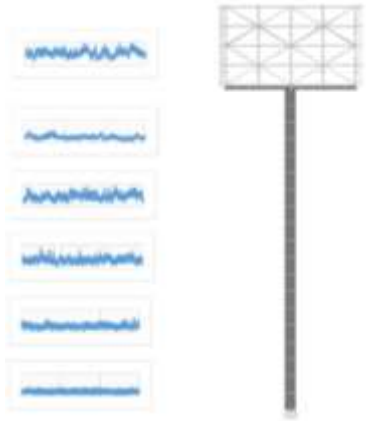


Figura 3.39 Excitaciones con variación en el tiempo actuantes en el “Letrero 4”.

De la misma manera que en los letreros anteriores, la respuesta es tomada en tres nodos de la cartelera del anuncio, estos nodos son al igual en los dos primeros letreros, los nodos 42, 54 y 66, que se localizan a la izquierda, en la parte central y a la derecha del anuncio respectivamente. En la figura 3.40 se muestran los nodos de los cuales se obtuvo la respuesta.

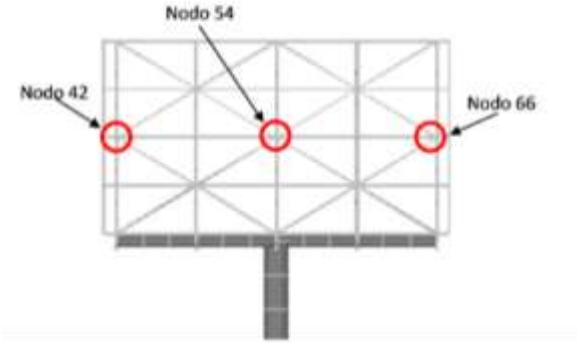



Figura 3.40 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del “Letrero 4”.

De la figura 3.41 a 3.43 podemos ver la respuesta en los nodos representativos de la cartelera (ver figura 3.40), esta consiste en los desplazamientos, velocidades y aceleraciones, las cuales fueron obtenidas con simulaciones numéricas para una velocidad media de 25 m/s.

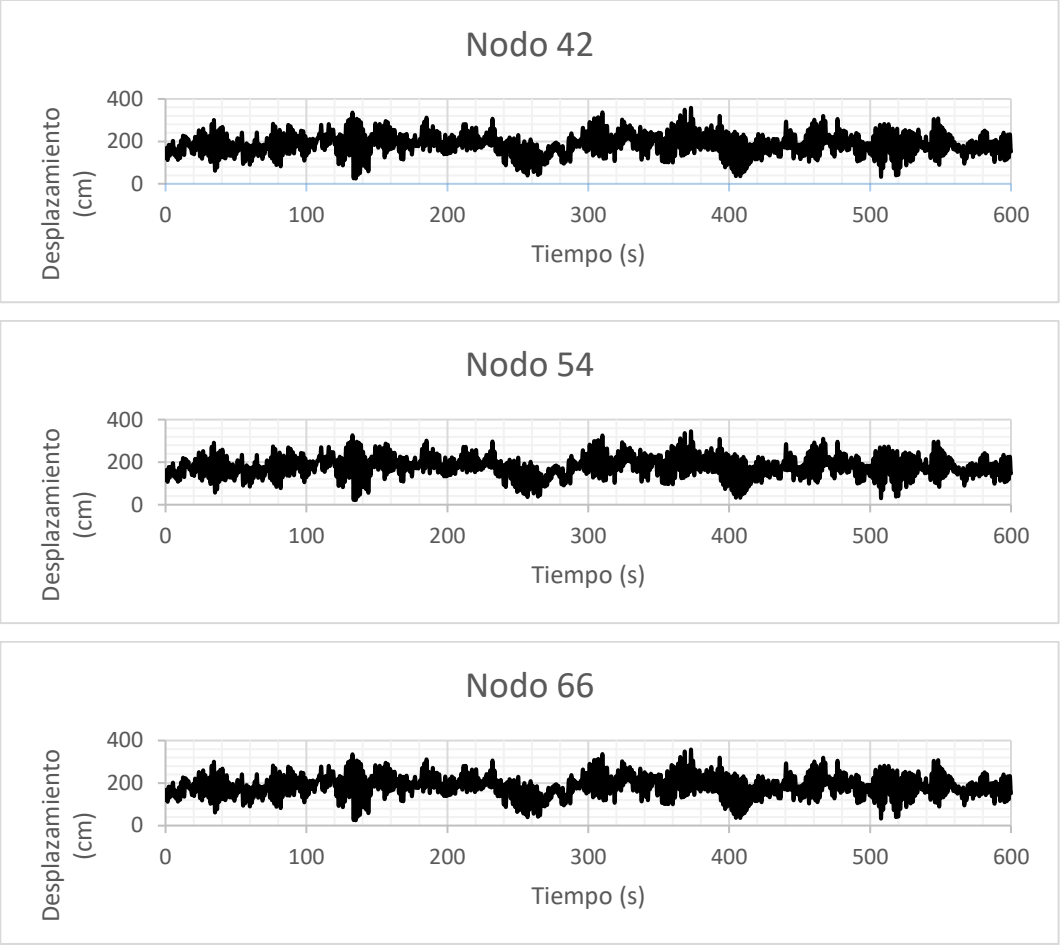



Figura 3.41 Desplazamientos correspondientes a los nodos 42, 54 y 66 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación "Letrero 4".

En la figura 3.42 se encuentran graficadas las velocidades a lo largo de los diez minutos que dura la simulación de las fuerzas del viento, así como el comportamiento que tiene de inicio a fin de la simulación.

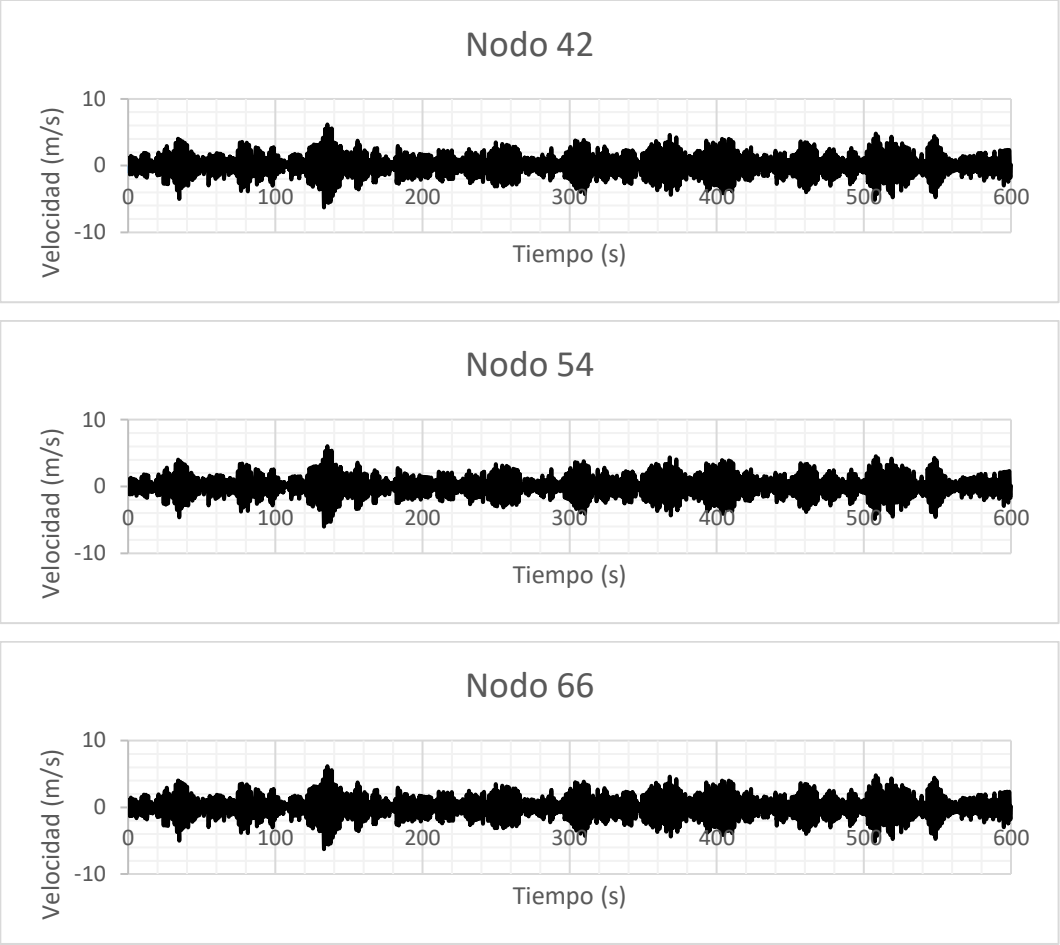



Figura 3.42 Velocidades correspondientes a los nodos 42, 54 y 66 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación “Letrero 4”.

Por otro lado, las aceleraciones se muestran en la figura 3.43, las cuales son representativas de la respuesta en los nodos mencionados con anterioridad.

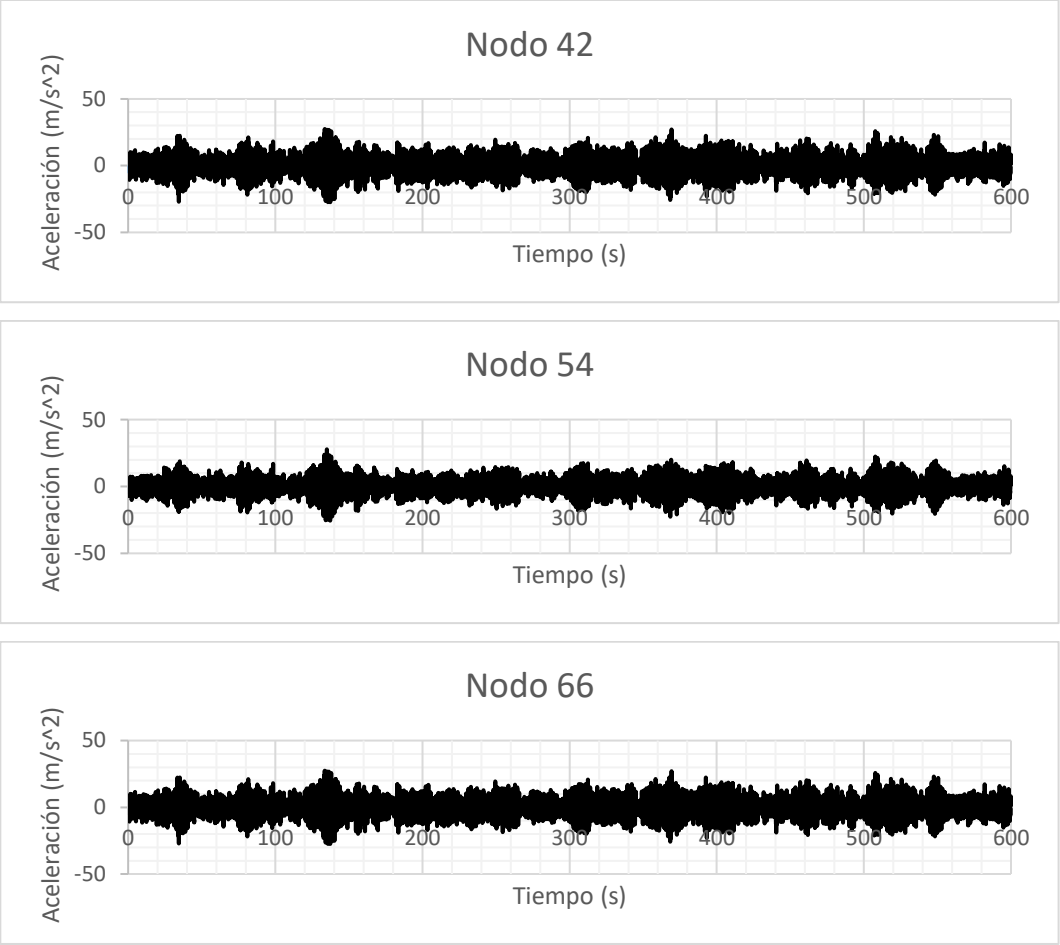



Figura 3.43 Aceleraciones correspondientes a los nodos 42, 54 y 66 a lo largo de los 10 minutos que dura la simulación "Letrero 4".

Podemos ver que al igual que el "Letrero 1", los nodos 42 y 66, los cuales tienen la misma respuesta debido a la simetría con la que cuenta el letrero, mientras que el nodo 54, el cual está ubicado en la parte central de la estructura, tiene un desplazamiento ligeramente menor debido a la posición del tubo poste el cual funge como soporte del anuncio espectacular.

En la figura 3.44 se ve de manera gráfica el comportamiento de los nodos elegidos para conocer la respuesta del anuncio, mostrando los desplazamientos en la tabla 3.10. Cabe mencionar que el dato del desplazamiento se obtuvo en el instante de tiempo en el cual se encuentra la respuesta máxima.

Tabla 3.10 Desplazamientos de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 11.715 | 11.3746 | 11.715 |
| 10 | 50.5158 | 48.7151 | 50.5158 |

Continua Tabla 3.10 Desplazamientos de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 15 | 120.6866 | 116.7562 | 120.6866 |
| 20 | 214.3151 | 206.6525 | 214.3151 |
| 25 | 358.2668 | 346.0191 | 358.2668 |
| 30 | 573.3212 | 554.6651 | 573.3212 |
| 35 | 779.2059 | 758.1563 | 779.2059 |
| 40 | 1032.3672 | 1009.1143 | 1032.3672 |

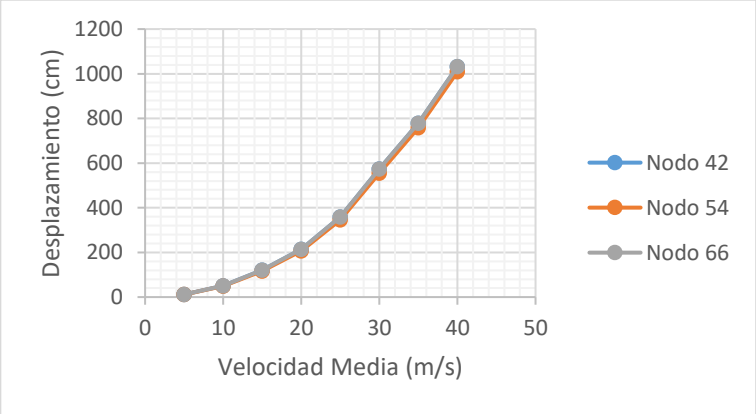



Figura 3.44 Desplazamientos de nodos representativos en el “Letrero 4”.

En la tabla 3.11 se registran las velocidades obtenidas en el periodo de tiempo donde se encuentra el valor máximo, estos datos se muestran de manera gráfica en la figura 3.45, en la cual se observa el incremento que se tienen con el cambio de la velocidad media.

Tabla 3.11 Velocidades de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Velocidad | | |
| m/s | m/s | m/s | m/s |
| 5 | 0.1232 | 0.1207 | 0.1232 |
| 10 | 0.5792 | 0.5582 | 0.5792 |
| 15 | 1.5459 | 1.4846 | 1.5459 |
| 20 | 3.1133 | 3.062 | 3.1133 |
| 25 | 6.1696 | 6.0427 | 6.1696 |
| 30 | 8.767 | 8.4377 | 8.767 |
| 35 | 12.6621 | 12.0851 | 12.6621 |
| 40 | 18.2788 | 17.8913 | 18.2788 |

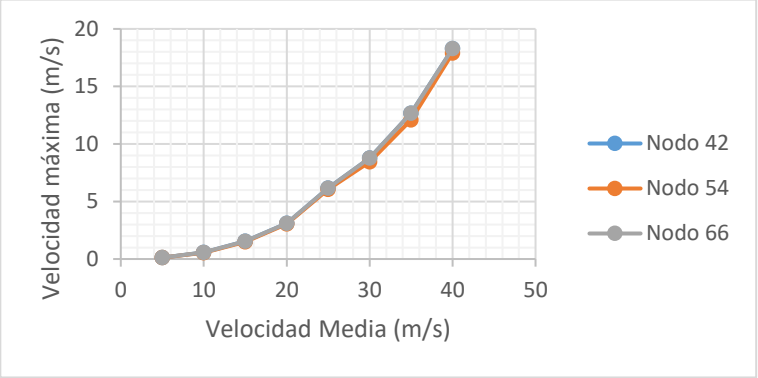



Figura 3.45 Velocidades de nodos representativos en el "Letrero 4".

De igual manera que en los casos anteriores, se usa el valor máximo de la respuesta, el cual sirvió como fuente para obtener las aceleraciones de la respuesta para los nodos representativos de la cartelera las cuales se muestran en la tabla 3.12.

Tabla 3.12 Aceleraciones de los nodos representativos para diversas velocidades medias.

| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Velocidad | | |
| m/s | m/s2 | m/s2 | m/s2 |
| 5 | 0.48171 | 0.46768 | 0.48171 |
| 10 | 2.56576 | 2.30102 | 2.56576 |
| 15 | 7.36031 | 6.49101 | 7.36031 |
| 20 | 15.21616 | 14.0612 | 15.21616 |
| 25 | 27.479 | 27.86433 | 27.479 |
| 30 | 48.91842 | 40.18627 | 48.91841 |
| 35 | 63.87759 | 59.97427 | 63.87759 |
| 40 | 96.67958 | 84.04824 | 96.67957 |

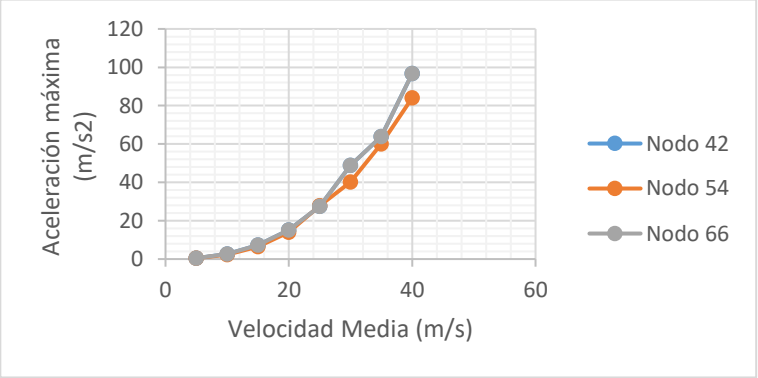



Figura 3.46 Aceleraciones de nodos representativos en el "Letrero 4".

## 3.8 MOMENTOS DE VOLTEO PARA LOS LETREROS DE ESTUDIO

Se obtuvieron los momentos de volteo para todos los casos de estudio en los cuatro letreros, con velocidades medias que van desde 5 m/s hasta 40 m/s. Estos momentos fueron revisados de dos puntos en particular, el primero, mostrado en la tabla 3.13, es del nodo de unión entre el tubo de poste y el tubo trabe que soporta la cartelera, mientras que el segundo (tabla 3.14) es tomado en la base de la estructura.

Se utilizaron diferentes intervalos de tiempo, tomando el máximo momento de volteo en la velocidad media correspondiente.

Tabla 3.13 Momentos de volteo en la base de la cartelera.

| Velocidad Media | MV "Letrero 1" | MV "Letrero 2" | MV "Letrero 3" | MV "Letrero 4" |
|---|---|---|---|---|
| m/s | N-m | N-m | N-m | N-m |
| 5 | 32943.13 | 33073.18 | 31708.04 | 33395.25 |
| 10 | 153311.31 | 154220.27 | 151167.55 | 146479.04 |
| 15 | 318381.77 | 312189.64 | 313346.48 | 348539.51 |
| 20 | 554226.34 | 571744.31 | 639662.09 | 561528.19 |
| 25 | 911096.76 | 943018 | 872223.3 | 943783.55 |
| 30 | 1337317.95 | 1338449.5 | 1459290.61 | 1492946.48 |
| 35 | 1868853.29 | 1859521.88 | 2137240.83 | 1968955.34 |
| 40 | 2641927.9 | 2454127.74 | 2514032.83 | 2788705.04 |

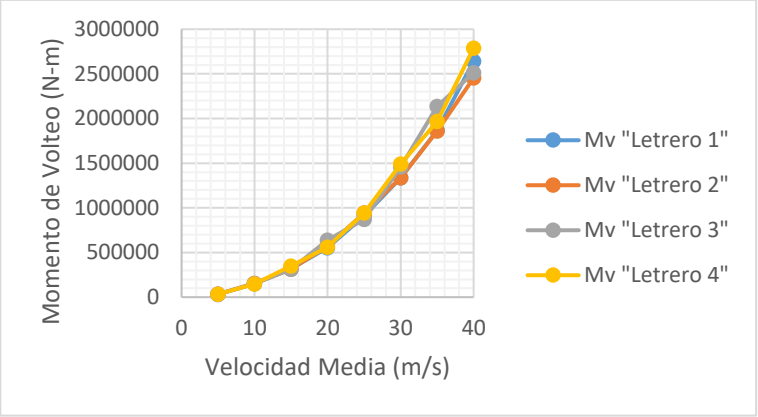



Figura 3.47 Momentos de Volteo en la base de la cartelera.

Tabla 3.14 Momentos de volteo en la base de la estructura.

| Velocidad Media | MV "Letrero 1" | MV "Letrero 2" | MV "Letrero 3" | MV "Letrero 4" |
|---|---|---|---|---|
| m/s | N-m | N-m | N-m | N-m |
| 5 | 261217.63 | 266702.42 | 249009.49 | 332240.28 |
| 10 | 1134418.83 | 1196436.92 | 1146441.48 | 1423867.82 |
| 15 | 2714717.46 | 2482766.82 | 2469279.83 | 3380235.99 |
| 20 | 4872524.29 | 5085959.19 | 5187607.99 | 6116896.35 |
| 25 | 7964315.12 | 8093271.25 | 7140876.48 | 10206963.61 |
| 30 | 11194190.51 | 11325971.24 | 11438850.91 | 16502338.98 |
| 35 | 17558289.43 | 18521829.23 | 17128558.78 | 22551468.77 |
| 40 | 22986996.79 | 22140633.58 | 20384192.07 | 30010046.44 |

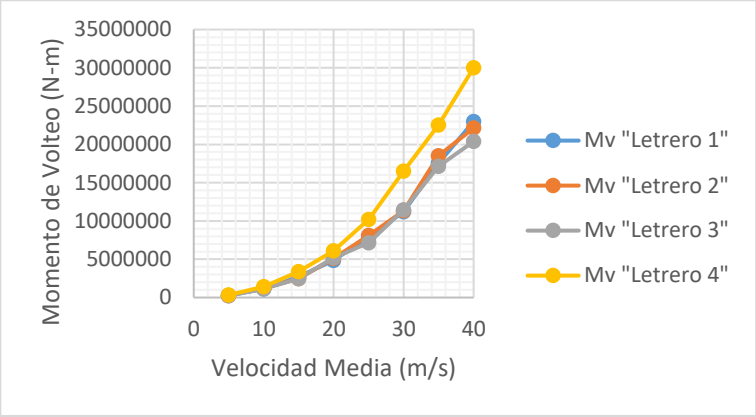



Figura 3.48 Momentos de Volteo en la base de la estructura.

## 3.9 CONCLUSIONES

- La respuesta en cada una de las estructuras muestra la importancia de una masa concentrada en estructuras tan flexibles, los desplazamientos llegan a magnitudes muy grandes, magnitudes que no son realistas para que soporte una estructura de ese tipo.
- La configuración de los anuncios es una característica muy importante a destacar en este tipo de estructuras, ya que de ellas depende en gran parte la respuesta de las mismas, teniendo que en las estructuras sin excentricidad en el tubo (Letrero 1) cuentan con un mejor comportamiento que las estructuras de bandera (Letrero 2) ya que la torsión en estas últimas, genera desplazamientos muy por encima que las estructuras sin excentricidad, mientras que las estructuras de los anuncios de tres caras (Letrero 3), al tener una masa mucho mayor que las anteriores también genera un cambio en la respuesta con respecto a la primera configuración (Letrero 1), por último, la estructura con mayor flexibilidad debido al incremento de altura (Letrero 4), genera una respuesta muy por encima de las tres configuraciones anteriores, destacando la importancia de la acción del viento con respecto a la altura.
- El momento de volteo en la base de la cartelera tiene un comportamiento muy similar en las cuatro configuraciones en las que se basó este trabajo, pero se muestra de manera muy clara

como los “Letreros 1 y 2”, los cuales tienen la misma masa, cuentan con momentos de volteo muy similares, esto debido a la pequeña variación en el periodo y la velocidad de diseño que hay entre sí, no así, en los “Letreros 3 y 4” los cuales muestran cambios debido a que su periodo y velocidad difieren de manera considerable con respecto a las otras dos configuraciones, esto debido al incremento de la masa que tiene el “Letrero 3” y al incremento en la altura del “Letrero 4”.

- Se genera cierta similitud en lo que respecta al momento de volteo, hasta una velocidad media de 25 m/s, en la base del letrero, después de dicha velocidad la el incremento del momento es claramente visible, resaltando el anuncio que cuenta con una mayor altura.

## 3.10 REFERENCIAS

Holmes, John d. (2005), Wind loading of structures, Taylor and Francis group.

Taranath, Bungale S., (2004), Wind and Earthquake resistant buildings structural analysis and design, Marcel Dekker.

Uribe Guerrero, Luis Enrique, (2020), Comportamiento no lineal ante cargas sísmicas y eólicas en estructuras, UNAM.

Seung Yong Jeong, Hamidreza Alinejad y Thomas H.K. Kang, (2021), Performance based wind design of high rise buildings using generated time-history wind loads. ASCE.

# CAPÍTULO 4

# RESPUESTA DE UN ANUNCIO ESPECTACULAR MEDIANTE EL MDOC

## 4.1 INTRODUCCIÓN

Debido a su ubicación geográfica, México, cada año se tienen daños debido a los fuertes vientos que azotan las costas del país, presentándose vientos provenientes del océano Pacifico, golfo de México y el Caribe. Los daños ocasionados van desde caída de árboles, daños a líneas de electricidad, anuncios de publicidad, vialidades, edificios y vidas humanas. Siendo el tema de estudio de este trabajo los anuncios espectaculares, los cuales tienen daños considerables cada temporada de vientos fuertes en México, desde desprendimiento de lonas, hasta el colapso de la estructura.
El Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en su capítulo Diseño por Viento, tiene como objeto determinar la velocidad del viento en los diversos estados de la República Mexicana, además de la obtención de fuerzas necesarias para el análisis de diversos tipos de estructuras, entre ellas anuncios espectaculares de tipo monopolar.

A lo largo de este capítulo se mostrará el procedimiento utilizado por el MDOC, Diseño por Viento en sus versiones 2008 y 2020 para el cálculo de las fuerzas ocasionadas por los efectos del viento en cuatro estructuras de tipo monopolar, denominadas “Letrero 1”, “Letrero 2”, “Letrero 3” y “Letrero 4”, mismas que fueron mencionadas con anterioridad, y en las que podremos observar el cómo se ven afectadas por acción del viento mediante el proceso descrito en ambas versiones del manual.

## 4.2 DENSIDAD DEL AIRE

La densidad del aire, se supone igual a:

$$\rho^* = G\rho \tag{4.1}$$

donde la densidad del aire se considera a nivel del mar y a 15°C. En diversos códigos de diseño el valor de la densidad del aire varía de 1.20 a 1.25 kg/m$^3$. En el MDOC (2018, 2020) el valor considerado para diseño es:

$$\rho = 1.225 kg/m^3 \tag{4.2}$$

El valor de la constante adimensional, $G$, trata de corregir la densidad del aire debido a la contaminación y altura sobre el nivel del mar del sitio de construcción. La mayoría de los códigos de diseño eólico, consideran como más desfavorable un valor de:

$$G = 1.0 \tag{4.3}$$

Las versiones del MDOC 2008 y 2020, proponen corregir la velocidad del viento con la ecuación 4.4 o con la 4.5,

$$G = \frac{8 + h_m}{8 + 2h_m} \tag{4.4}$$

donde la altitud del sitio sobre el nivel del mar es, $h_m(m)$. Si se emplea la ecuación 4.4, se puede ver que, a nivel del mar, $G = 1.0$; y que para un sitio definido el factor $G$ es constante.

Otra forma propuesta de evaluar el factor correctivo de la densidad del aire es por medio de:

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + T(C°)} \tag{4.5}$$

donde $\Omega(mmHg)$ es la presión barométrica en mm de mercurio (Hg) del sitio en donde se construirá la estructura, y $T(C°)$ es el valor medio anual de las temperaturas mínimas diarias en grados Celsius. En la Tabla 4.1 se muestra la relación entre la altitud de un sitio en metros sobre el nivel del mar (msnm) y la presión barométrica (MDOC, 2018; 2020).

Tabla 4.1 Relación altitud (mmsnm) y la presión barométrica (MDOC, 2008, 2020)

| Altitud (msnm) $h_m(m)$ | $\Omega(mmHg)$ | $T(C°)$ |
|---|---|---|
| 0.0 | 760.0 | 15 |
| 500.0 | 720.0 | 11.16 |
| 1,000.0 | 675.0 | 7.96 |
| 1,500.0 | 635.0 | 4.77 |
| 2,000.0 | 600.0 | 1.57 |
| 2,500.0 | 565.0 | -1.63 |
| 3,000.0 | 530.0 | -4.82 |
| 3,500.0 | 495.0 | -8.02 |

Se sabe que la densidad del aire disminuye con la altura y que se comporta como se resume en la Tabla 4.2. Con relación al valor nominan que se acepta en los códigos de diseño, la densidad del aire a una temperatura de 15°C es de 1.225 kg/m$^3$, en la Tabla 4.2 se muestra el factor correctivo, $G$, por el que se debería multiplicar la densidad del aire según la temperatura.

Tabla 4.2 Relación de la temperatura en grados Celsius con la densidad del aire.

| $T(C°)$ | $\rho(kg/m^3)$ | $G$ |
|---|---|---|
| 35 | 1.146 | 0.9355 |
| 30 | 1.164 | 0.9402 |
| 25 | 1.184 | 0.9665 |
| 20 | 1.204 | 0.9829 |
| 15 | 1.225 | 1.0 |
| 10 | 1.247 | 1.018 |
| 5 | 1.269 | 1.036 |
| 0 | 1.293 | 1.056 |
| -5 | 1.316 | 1.074 |
| -10 | 1.342 | 1.096 |
| -15 | 1.368 | 1.117 |
| -20 | 1.395 | 1.139 |
| -25 | 1.423 | 1.162 |

En la Tabla 4.2 se puede ver que conforme la temperatura ambiental aumenta la densidad del aire disminuye, y la densidad del aire aumenta solo cuando la temperatura ambiente baja. En México el estado que ha presentado el clima más extremo es Chihuahua (https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:R%C3%A9cords_meteorol%C3%B3gicos_en_M%C3%A9xico) presentado temperaturas mínimas de -20°C en invierno y de 40°C en verano.

En el Reglamento de diseño eólico de Argentina (CIRSOC, 2005) se muestra la Tabla 4.3, para el cálculo de la densidad del aire en función de la altitud del sitio en metros.

Tabla 4.3 Relación de la altitud sobre el nivel del mar y la densidad del aire (INTI-CIRSOC, 2005)

| Altitud en metros | $\rho\left(kg/m^3\right)$ | | |
|---|---|---|---|
| | Mínimo | Promedio | Máximo |
| 0.0 | 1.1405 | 1.2254 | 1.3167 |
| 305 | 1.1101 | 1.1886 | 1.2735 |
| 610 | 1.0812 | 1.1533 | 1.2302 |
| 914 | 1.0524 | 1.1197 | 1.2222 |
| 1,000 | 1.0444 | 1.1101 | 1.1902 |
| 1,219 | 1.0252 | 1.0861 | 1.1501 |
| 1,524 | 0.9996 | 1.0556 | 1.1133 |
| 1,829 | 0.9739 | 1.0236 | 1.0764 |
| 2,000 | 0.9595 | 1.0076 | 1.0572 |
| 2,134 | 0.9483 | 0.9931 | 1.0412 |
| 2,438 | 0.9243 | 0.9643 | 1.0060 |
| 2,743 | 0.8986 | 0.9355 | 0.9723 |
| 3,000 | 0.8794 | 0.9115 | 0.9467 |
| 3,048 | 0.8762 | 0.9082 | 0.9419 |

En el documento: Significant Changes to the Minimum Design Loads Provision of ASCE 7-16, en la Tabla 26.9 de ese documento, se relaciona el Factor de ajuste de la densidad del aire según la altura sobre el terreno y especifica que considerar un valor unitario es una aproximación conservadora y adecuada para todos los casos. En la Tabla 4.4 se reescribe la tabla mencionada en dicho documento, en donde se considera que para 15°C de temperatura y a nivel del mar, la densidad del aire es: 1.225 kg/m$^3$.

Tabla 4.4 Altura sobre el nivel del mar, factor de ajuste.

| Altura snm, $h_m\left(m\right)$ | $G$ | $\rho\left(kg/m^3\right)$ |
|---|---|---|
| 0.0 | 1.0 | 1.225 |
| 305.0 | 0.96 | 1.176 |
| 610.0 | 0.93 | 1.139 |
| 914.0 | 0.90 | 1.102 |
| 1,219.0 | 0.86 | 1.054 |
| 1,524.0 | 0.83 | 1.017 |
| 1,829.0 | 0.80 | 0.980 |

Los valores de la Tabla 4.4 se obtienen con la ecuación:

$$G = e^{-0.000119 h_m} \tag{4.6}$$

Es evidente que, en un sitio determinado, si la temperatura cambia durante el paso del tiempo, también lo hará la densidad del aire y por tanto la presión básica de diseño sobre la estructura. Sin embargo, dicho cambio solo es desfavorable para las cargas de diseño cuando la temperatura disminuye y no cuando aumenta, considerando que la altura sobre el nivel del mar del sito no sufre cambio. Por esa razón la mayoría de los códigos de diseño consideran del lado de la seguridad no considerar el factor correctivo de la densidad del aire, es decir, considéralo como unitario.

En algunos casos, calcular el factor correctivo puede proporcionar errores conceptuales como por ejemplo, en el MDOC (2008) para la ciudad de Acapulco, Guerrero, se propone que a 20 msnm la temperatura media es de 27.9°C; para la misma ciudad de Acapulco, en el MDOC (2020) se propone para 3 msnm una temperatura media de 10.7°C, por lo que el diseñador sin conocer ambas versiones,

para el mismo sitio puede obtener en diferentes años, diferentes factores correctivos de la densidad del aire, tal que, el factor correctivo empleando el MDOC (2008) es:

$$G_{2008} = \frac{0.392(758.4m)}{273 + 27.9°C} = 0.988 \tag{4.7}$$

Y empleando las recomendaciones del MDOC (2020) es de:

$$G_{2020} = \frac{0.392(759.76m)}{273 + 10.7°C} = 1.05 \tag{4.8}$$

La temperatura en los últimos años se ha modificado, principalmente debido a efectos del cambio climático, pero en las costas de México, se han incrementado y no disminuido.

Es poco confiable, ya que aun cuando la temperatura en un sitio puede cambiar debido a muchos factores, la altura sobre el nivel del mar para cuantificar el factor correctivo debe ser el mismo para el cálculo de ambos factores, es decir, el diseñador poco experimentado utilizaría la altura sobre el nivel del mar que proponen los códigos o la que se proponen en forma general en una ciudad, lo cual para considerar correctamente el factor correctivo para efectos de sitio localizados específicamente en una ciudad, será necesario conocer exactamente la temperatura media anual y la altitud sobre el nivel del mar para ese sitio en particular, lo cual en México no es se realiza.

En He *et al*. (2021) se estudian diversas ecuaciones para cuantificar el efecto de la densidad del aire en la respuesta de una estructura concluyendo que no hay cambio importante en cuantificar el cambio de la densidad con la altura, y que incluso debido a que la densidad del aire disminuye con la altitud, está debería in cambiando con la altura, de la misma manera que lo hace la velocidad del viento y considerarse constante, siendo siempre menor a mayor altura.

Por todo lo anteriormente descrito, en este trabajo no se corregirá la densidad del aire, considerándose un valor de:

$$\rho = 1.225 kg/m^3 \tag{4.9}$$

## 4.3 VIENTO SINÓPTICO

Cuando existe una atmósfera estable y con relativa poca intensidad de turbulencia las características del viento se conocen como viento sinóptico. La velocidad con la cual se clasifican fenómenos atmosféricos como los ciclones tropicales son no sinópticos.

En la referencia Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-10), se muestra la relación entre velocidades medias promediadas a 3s, con respecto a la velocidad de un Huracán según su clasificación en la escala Saffir- Simpson (Tabla 4.5).

Tabla 4.5 Relación aproximada entre velocidades de viento en el ASCE 7 y la escala Saffir-Simpson

| Categoría Saffir/Simpson | Velocidad del viento en m/s | | |
|---|---|---|---|
| | Sostenida, sobre el agua **(a)** | Ráfaga de viento, sobre el agua **(b)** | Ráfaga de viento, en tierra **(c)** |
| Huracán categoría 1 | 33-43 | 40.2-51.9 | 36.2-46.9 |
| Huracán categoría 2 | 44-49 | 52.3-59.9 | 47.7-54.1 |
| Huracán categoría 3 | 50-58 | 60.3-70.6 | 54.5-63.9 |
| Huracán categoría 4 | 59-69 | 71.1-84.5 | 64.4-76.4 |
| Huracán categoría 5 | >69 | >84.5 | >76.4 |

(a) Velocidad promediada a 1 minuto a 10m de altura sobre el agua (mar)
(b) Velocidad de ráfaga, promediada a 3s a 10m de altura sobre el agua (mar)

(c) Velocidad de ráfaga, promediada a 3s a 10m de altura en terreno exposición C, esta columna tiene las mismas propiedades (tiempo de promediación, altura y exposición) de la velocidad base de diseño (Figura 26.5-1, ASCE 7-10)

Con base en la Tabla 4.5, un ciclón tropical, se llama Huracán categoría 1 cuando su velocidad, promediada a 3s, es:

$$\geq 130\, km/h \tag{4.10a}$$

$$\geq 36.2\, m/s \tag{4.10b}$$

En el ASCE 7-16 ( ) se especifica que existen dos áreas vulnerables a Huracanes, una de ellas está definida en sitios con velocidades de riesgo categoría II, con velocidades mayores de 51.4 m/s (185.04 km/h) promediadas a 3s. En la sección 202, con el título "wind-borne debris región" (cuerpos arrastrados por el viento) establece que los sitios con velocidades últimas mayores de 58m/s son sitios de huracanes.

Una forma aproximada para convertir las velocidades medias a diferentes tiempos de promediación es por medio de la curva propuesta por Durst (1960). Esa curva se basa en velocidades medias horarias que no exceden entre los 18-22 m/s (Aboshosha, et al., 2016). En Mousaad y Abburu (2015), se propone una relación de:

$$V_{3s} = 1.52 V_{3600s} \tag{4.11}$$

Así mismo propone calcular el factor equivalente entre diferentes tiempos de promediación con:

$$V_t(z) = V_{3,600s}(z)\left[1 + \frac{c(t)\sqrt{\beta}}{2.5\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}\right] \tag{4.12}$$

Entonces la curva de Durst (1960) es válida para velocidades promediadas en 3s, entre 27-33.44 m/s, que en la Tabla 4.5 pertenece a velocidad menor de la que presenta un Huracán Categoría 1.

La relación entre una velocidad promediada a 3s con respecto a la velocidad promediada a 10 minutos (600s) o a una hora (3,600s) se conoce como Factor de Velocidad de Ráfaga.

En forma aproximada, las velocidades anteriores promediadas a 10 minutos son:

$$\geq 91.13\, km/h \tag{4.13a}$$

$$\geq 25.38\, m/s \tag{4.13b}$$

En la referencia Concrete Structures for Wind Turbines, (Jurgen y Gohlamn, 2013) se muestra la Tabla 4.6, que resume los fatores de conversión de velocidades del viento a un tiempo de promediación de 10 minutos.

Tabla 4.6 Factor de conversión de velocidades a 10 minutos de promediación.

| Periodo de promediación | 1h | 10 minutos | 1 minuto | 5s | 3s |
|---|---|---|---|---|---|
| Factor | 0.91 | 1.0 | 1.10 | 1.21 | 1.25 |

Según la Tabla 4.6, para convertir de una velocidad promediada a 3s a una de 10 minutos,

$$V_{3s} = 1.25 V_{600s} \tag{4.14}$$

En el documento Structural Reliability and Risk Analysis (Vacarenu, Aldea y Lung, 2007) se establece la relación entre velocidades medias de referencia a 10m de altura, para una hora se

considera como velocidad media horaria, para 10 minutos, velocidad media sostenida, y para 3 s, velocidad media de ráfaga.

$$1.05V_{3600s} = V_{600s} = 0.83V_{60s} = 0.67V_{3s} \tag{4.15}$$

Por lo que la relación de velocidades entre 3s y 10 minutos de promediación es:

$$V_{3s} = 1.492V_{600s} \tag{4.16}$$

En el MDOC (2008, 2020) empleado la curva de Durst, se calcula la relación:

$$V_{3s} = 1.425V_{600s} \tag{4.17}$$

Considerando entonces que velocidades menores a 130 km/h (36.2m/s) cuando son promediadas a 3s, se consideran vientos sinópticos, en este trabajo se consideran velocidades máximas de aplicación del procedimiento cuando,

$$V_{R_{3s}}\left(km/h\right) \leq 130\,km/h \tag{4.18}$$

Si se comparan las velocidades medias que se proponen en diferentes códigos de diseño, se tiene que en UNE-ENV 1991-2-4 (1998) Eurocódigos (Eurocódigo 1, Bases de Proyecto y acciones en estructuras, parte 2-4: acciones en Estructuras. Acciones del viento) las velocidades se promedian a 10 minutos, en la Figura 4.5 se muestra el mapa de velocidades medias a 10m de altura promediadas a 10 minutos, se puede ver que la velocidad máxima registra es de 30m/s, que se encuentra en el límite del inicio de una velocidad tipo Huracán Categoría 1

La relación entre ráfagas de corta duración y la velocidad promedio es importante en el cálculo de las cargas de viento. El ASCE (2005) emplea la fórmula de Durst (1960) mientras Krayer y Marshall (1992) desarrollaron una curva usando 11 registros de viento de cuatro diferentes huracanes que tocaron tierra. Conder *et al*., (2006) midió la velocidad de cuatro huracanes más, y encontró que los factores de ráfaga se aproximaban a la curva de Krayer -Marshall (Marshall, 2008).

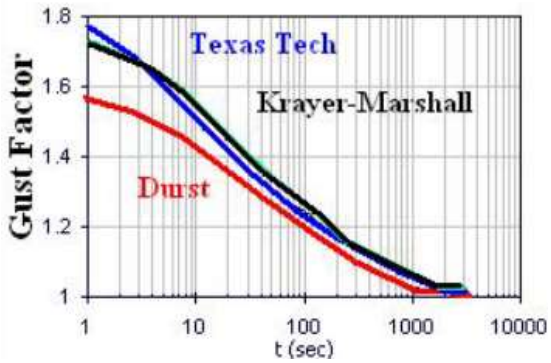



Figura 4.1 Conversión de velocidades promediadas a 3s a cualquier tiempo de premediación.

### 4.3.1 Velocidad regional o velocidad base

La velocidad base o regional, que se propone en diversos códigos en mapas de iguales velocidades con diferentes periodos de retorno, se deben calcular a 10m de altura en terreno Clase II, es decir campo abierto, con muy pocas obstrucciones. Las unidades de diseño aceptadas internacionalmente

son m/s. Como en el MDOC (2008, 2020) se consideran en km/h, estás velocidades deben ser escritas en forma correcta convirtiéndolas a m/s,

$$V_{R3s}\left(m/s\right)=\left(\frac{5}{18}\right)V_{R3s}\left(km/h\right) \tag{4.19}$$

En donde la velocidad regional se considera promediada a 3s, como lo específica en MDOC (2000, 2008).

Y la velocidad regional promediada a 3s y medida a 10m de altura en terreno plano, categoría II, puede convertirse en una velocidad regional promediada a 10 minutos para las mismas condiciones de medición, con:

$$V_{R600s}=0.702V_{R3s} \tag{4.20}$$

donde $V_{R600s}$ es la velocidad regional promediada a 10 minutos.

### 4.3.2 Clasificación del Tipo de Terreno

En el análisis eólico se toma en cuenta tanto la topografía como la exposición en el sitio donde se encuentre la estructura, debido a esto se categoriza el terreno dependiendo de la topografía y las obstrucciones que existan en la zona. La Figura 4.2 muestran la categoría del terreno según su rugosidad tanto en el MDOC 2008 como para la versión 2020.

Tabla 4.2.1 CATEGORÍA DEL TERRENO SEGÚN SU RUGOSIDAD

| Cat. | Descripción | Ejemplos | Limitaciones |
|---|---|---|---|
| 1 | Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua | Franjas costeras planas, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor, superficies nevadas planas. | La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor. |
| 2 | Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones | Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas. | Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 10 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar. |
| 3 | Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas | Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas. | Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la nueva construcción, la que sea mayor. |
| 4 | Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas | Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados. | Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la nueva construcción. |

(a) Tabla 4.2.1, MDOC (2008)

Tabla 2.1 Categoría del terreno según su rugosidad.

| Cat. | Descripción | Ejemplos | Limitaciones |
|---|---|---|---|
| 1 | Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua. | Franjas costeras planas, bahías, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas, superficies nevadas planas. | Las obstrucciones existentes, tienen alturas menores que 1.5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 20 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor. |
| 2 | Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones. | Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas, árboles y construcciones dispersas. | Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 5 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 20 veces la altura de la construcción por diseñar. |
| 3 | Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. | Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas. | Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 a 10 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 20 veces la altura de la construcción, la que sea mayor. |
| 4 | Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas. | Grandes centros urbanos y complejos industriales bien desarrollados. | Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 20 veces la altura de la construcción. |

La selección de la Categoría de terreno debe realizarse considerando la permanencia de las obstrucciones que constituyen la rugosidad de la superficie del terreno. Por ejemplo, debe considerarse la posibilidad de que la vegetación no permanecerá durante eventos de viento intenso en regiones donde se presentan ciclones tropicales.

(b) Tabla 2.1, MDOC (2020)

Figura 4.2 Categoría del terreno según su rugosidad, MDOC

## 4.4 VELOCIDAD DE DISEÑO, PROMEDIADA A 3s

La velocidad de diseño, en m/s, se obtiene según el MDOC (2008, 2020) está relacionada con la velocidad regional la cual es promediada a 3s. En este trabajo se considera de forma correcta que está en unidades m/s. Por lo que la velocidad de diseño se calcula con:

$$V_{D3s}(z) = F_T F_{rz}(z) V_{R3s} \tag{4.21}$$

donde, $F_T$ es el factor de topografía, adimensional; $F_{rz}(z)$ es el factor adimensional que toma en cuenta el efecto de las características de exposición local; $V_{R3s}(m/s)$ es la velocidad regional que corresponde a un sitio y está medida a 10m de altura a partir del terreno Categoría II, promediada a 3s y convertida a m/s.

### 4.4.1 Factor de Topografía

El factor de topografía, como su nombre lo indica, es el que toma en cuenta la topografía del lugar donde se localiza la estructura y se obtiene de las Tablas 4.2.4 y 2.3 del MDOC, Diseño por viento, en sus versiones 2008 y 2020 respectivamente. En la Tabla 4.7 se resumen los valores del factor de topografía según la condición del sitio de construcción. Los valores son los mismos en las versiones 2008 y 2020, del MDOC.

Tabla 4.7 Factor de Topografía, MDOC (2008, 2020).

| Sitio | Ejemplo de topografía local | $F_T$ |
|---|---|---|
| Protegido | Valles cerrados | 0.90 |
| Normal | Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendiente menores de 5% | 1.0 |
| Expuesto | Promontorios: montes, cerros, lomas, cimas, colinas | Ver ecuaciones en el MDOC (2008,2020) |
| | Terraplenes: peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas | |

### 4.4.2 Factor de Exposición

El Factor de Exposición local, representa la forma en la que varía la velocidad media del viento con la altura. Se calcula con las expresiones,

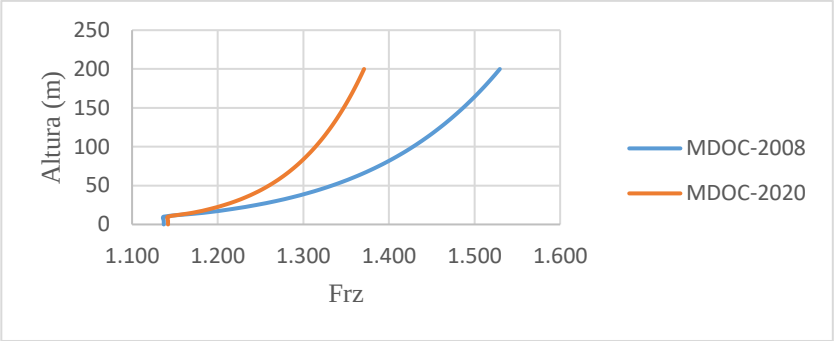
$$F_{rz}(z) = c \quad \text{si} \quad z \leq 10.0m \tag{4.22a}$$

$$F_{rz}(z) = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \quad \text{si} \quad 10.0m \langle z \leq 200m \tag{4.22b}$$

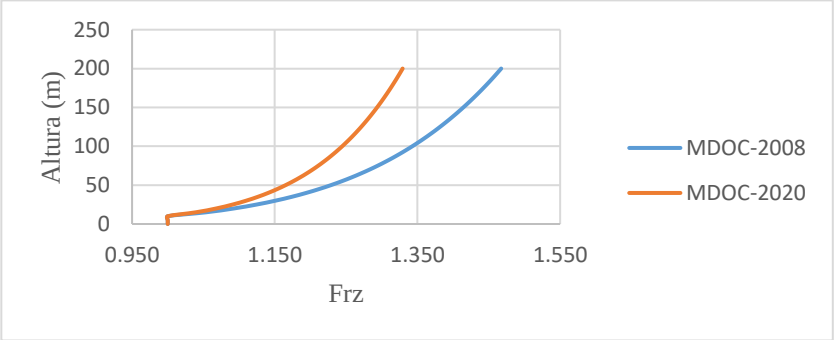
donde, $z(m)$ es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño; $\alpha$ es el exponente adimensional que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura; $c$ es el coeficiente adimensional que representa la escala de rugosidad. En el MDOC (2008, 2020) se establece la altura gradiente, $\delta(m)$, considerada como aquella altura a partir de la cual la velocidad del viento se considera constante. En este trabajo no se considera la altura gradiente ya que las expresiones 4.22 son válidas hasta una altura de 200m, y la altura gradiente siempre es mayor que es valor. Las constantes para calcular el factor de exposición para cada tipo de terreno se registran en la Tabla 4.8 para cada MDOC (2008, 2020).

Tabla 4.8 Constantes para definir el Factor de Exposición, MDOC (2008, 2020).

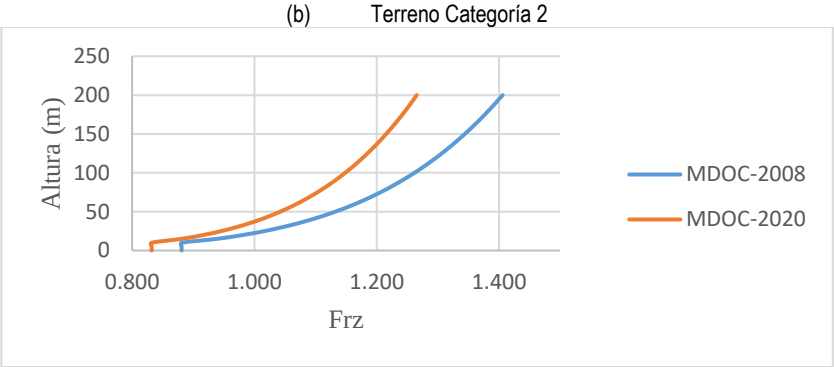
| Categoría del Terreno | MDOC-2008 | | | MDOC-2020 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $c$ | $\alpha$ | $\delta(m)$ | $c$ | $\alpha$ | $\delta(m)$ |
| 1 | 1.137 | 0.099 | 245 | 1.142 | 0.061 | 280 |
| 2 | 1.000 | 0.128 | 315 | 1.000 | 0.095 | 350 |
| 3 | 0.881 | 0.156 | 390 | 0.832 | 0.140 | 410 |
| 4 | 0.815 | 0.170 | 455 | 0.668 | 0.192 | 470 |



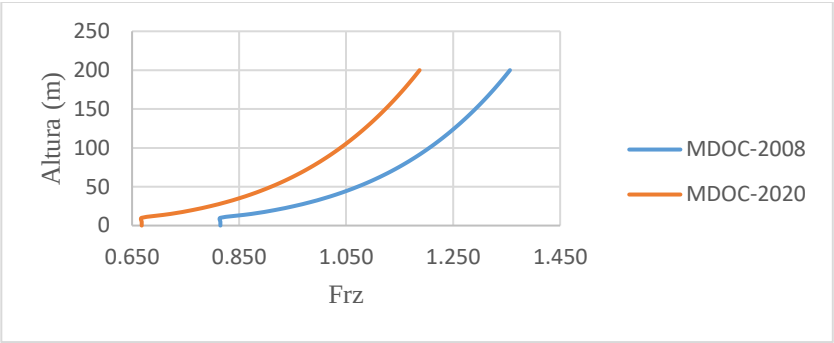

(a) Terreno Categoría 1




(b) Terreno Categoría 2




(c) Terreno Categoría 3




(d) Terreno Categoría 4

Figura 4.3 Comparación del Factor de exposición, para 3 segundos de promediación.

## 4.5 FUERZA ESTÁTICA EQUIVALENTE, PROMEDIADA A 3s

La presión dinámica de base $q_{z3s}\left(N/m^2 = Pa\right)$, es la presión ocasionada por la acción del viento en una superficie, la cual es perpendicular a la misma, está presión varia con respecto a la velocidad del viento y la dirección de la misma. La presión dinámica de base se determina con:

$$q_{z3s}(z) = \left(\frac{1}{2}\rho\right)\left[V_{D3s}(z)\right]^2 \text{ donde } q_{z3s}\left(\frac{N}{m^2}\right) \tag{4.23a}$$

donde la velocidad de diseño está en m/s. Si se requiere la presión en el sistema de unidades gravitacional, entonces la presión dinámica de base es,

$$q_{z3s}(z) = \left(\frac{1}{9.81 m/s^2}\right)\left(\frac{1}{2}\rho\right)\left[V_{D3s}(z)\right]^2 \text{ donde } q_{z3s}\left(\frac{kg_f}{m^2}\right) \tag{4.23b}$$

Como la presión dinámica de base ya incluye la ráfaga, para estructuras “rígidas”, la fuerza estática equivalente se calcula con:

$$F_{e3s}(z) = C_p A_e q_{z3s}(z) \tag{4.24}$$

Donde el área expuesta al viento es $A_e\left(m^2\right)$ y el coeficiente de presión, adimensional, y que depende de la forma aerodinámica de la estructura es, $C_p$.

## 4.6 VELOCIDAD DE DISEÑO, PROMEDIADA A 10 min

Y la velocidad de diseño promediada a 10 minutos es:

$$V_{D600s}(z) = F_T F'_{rz}(z) V_{R600s} \tag{4.25}$$

donde el Factor de Topografía, $F_T$, no depende del tiempo de promediación y es el mismo que el calculado anteriormente; la velocidad regional a 10m de altura en terreno plano promediada a 10 minutos en m/s es $V_{R600s}$. El Factor de Exposición si depende del tiempo de promediación, ya que representa la variación de la velocidad con la altura. Para 10 minutos de promediación en MDOC establece,

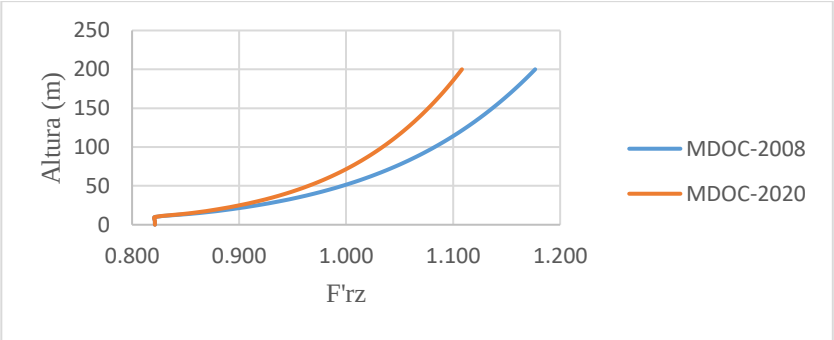
$$F'_{rz}(z) = \bar{b} \quad \text{si} \quad z \leq 10m \tag{4.26a}$$

$$F'_{rz}(z) = \bar{b}\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha'} \quad \text{si} \quad 10m \langle z \leq 200m \tag{4.26b}$$

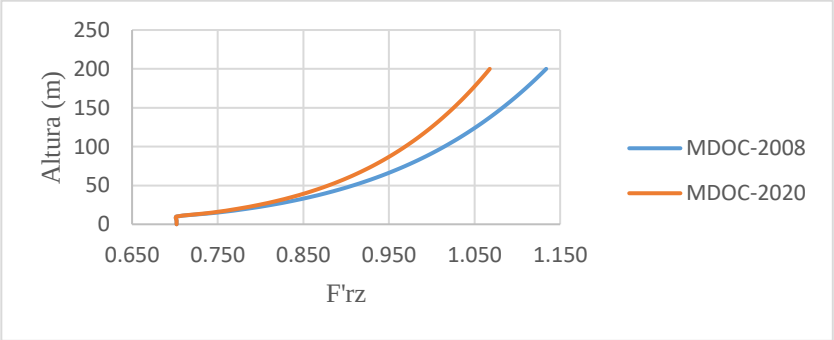
Los valores para calcular el perfil de velocidad se muestran en la Tabla 4.8.

Tabla 4.9 Constantes para el cálculo de los perfiles de velocidades a 10 minutos (MDOC, 2008-2020)

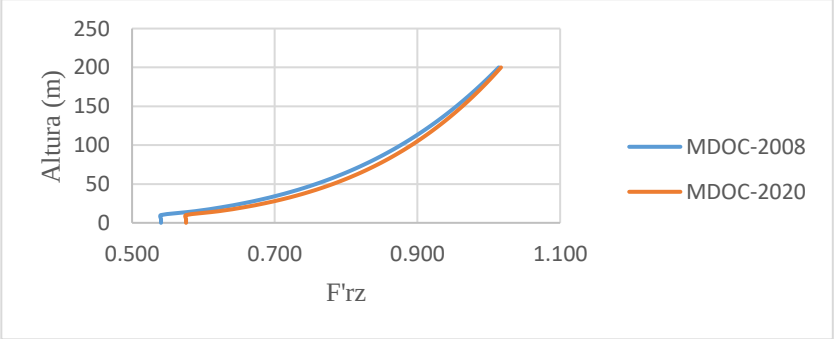
| Categoría del terreno | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | |
|---|---|---|---|---|
| | $\bar{b}$ | $\alpha'$ | $\bar{b}$ | $\alpha'$ |
| 1 | 1.17 | 0.12 | 1.17 | 0.10 |
| 2 | 1.00 | 0.16 | 1.00 | 0.14 |
| 3 | 0.77 | 0.21 | 0.82 | 0.19 |
| 4 | 0.55 | 0.29 | 0.61 | 0.26 |



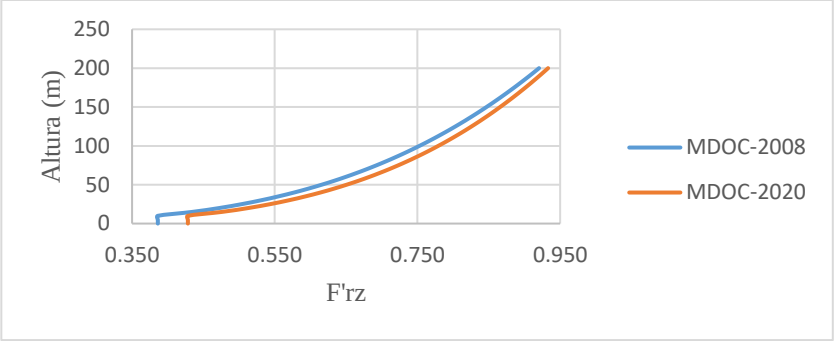

(a) Terreno Categoría 1




(b) Terreno Categoría 2




(c) Terreno Categoría 3




(d) Terreno Categoría 4

Figura 4.4 Comparación del Factor de exposición, para 10 minutos de promediación.

## 4.7 FUERZA ESTÁTICA EQUIVALENTE, PROMEDIADA A 10 min

Para el caso de la presión dinámica de base promediada a 10 minutos es:

$$q_{z600s}(z)=\left(\frac{1}{2}\rho\right)\left[V_{D600s}(z)\right]^2 \text{ donde } q_{z600s}\left(\frac{N}{m^2}\right) \tag{4.27}$$

Como no incluye la ráfaga, la presión dinámica debe modificarse con:

$$q_{z600s}(z)=\left(\frac{1}{2}\rho\right)\left[V_{D600s}(z)\right]^2\left[1+2k_p(z)I_v(z)\right] \tag{4.28}$$

Según el Eurocódigo y el código italiano, considerando el fator pico de las fluctuaciones como:

$$k_p \approx 3.5 \tag{4.29}$$

$$q_{z600s}(z)=\left(\frac{1}{2}\rho\right)\left[V_{D600s}(z)\right]^2\left[1+7I_v(z)\right] \text{ donde } q_{z600s}\left(\frac{N}{m^2}\right) \tag{4.30}$$

Donde la intensidad de la turbulencia (código italiano, 2008; Eurocódigo, 2010) se calcula con,

$$I_v(z)=\frac{1}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)c_t} \quad \text{para } z_{mín} \le z \le 200m \tag{4.31a}$$

$$I_v(z_{mín}) \quad \text{para } z \langle z_{mín} \tag{4.31b}$$

o bien se obtiene con la Figura 4.5 para cada categoría del terreno, y/o con los parámetros de la Tabla 4.10. Los valores de la intensidad de turbulencia dependen del coeficiente de topografía, $c_t$, por lo que solo pueden ser graficados o comparados para un valor definido del mismo.

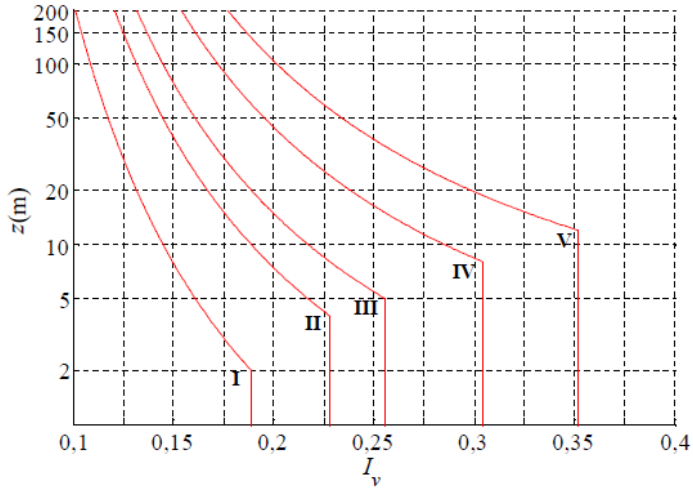



Figura 4.5 Índice de turbulencia, según el tipo de terreno, para un ct=1.0

Tabla 4.10 Constantes para el cálculo del Índice de Turbulencia.

| Categoría de terreno | $z_0\,(m)$ | $z_{mín}\,(m)$ |
|---|---|---|
| 1 | 0.01 | 1.0 |
| 2 | 0.05 | 2.0 |
| 3 | 0.30 | 5.0 |
| 4 | 1.0 | 10.0 |

Según el MDOC (2020), el índice de turbulencia se calcula con:

$$I_v(z) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_{mín}}{z_0}\right)} \quad \text{para } z \le z_{mín} \tag{4.32a}$$

$$I_v(z) = \bar{d}\left(\frac{z}{10}\right)^{-\alpha^*} \quad \text{para } z_{mín} \langle\, z \le 200m \tag{4.32b}$$

Tabla 4.11 Constantes para el cálculo del Índice de Turbulencia, MDOC (2020).

| Categoría de terreno | $z_0\,(m)$ | $z_{mín}\,(m)$ | $\bar{d}$ | $\alpha^*$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.001 | 1.0 | 0.12 | 0.10 |
| 2 | 0.020 | 2.0 | 0.17 | 0.14 |
| 3 | 0.200 | 5.0 | 0.25 | 0.19 |
| 4 | 1.000 | 10.0 | 0.39 | 0.26 |

La fuerza estática equivalente se calcula con,

$$F_{e600s}(z) = C_p A_e q_{z600s}(z) \tag{4.33}$$

## 4.8 EQUIVALENCIA ENTRE FUERZAS ESTÁTICAS 3s-10min, MDOC

La magnitud de fuerza aplicada en un cuerpo debido a la incidencia del viento, no depende del tiempo de promediación, así que independientemente del tiempo de promediación en la que el ingeniero la registre, la fuerza aplicada debe ser similar. Por esta razón, si se aplican los procedimientos sugeridos en el MDOC para calcular las fuerzas equivalentes, uno utilizando el perfil de velocidades promediado a 3 s, comparado con el que debe ser utilizado con el perfil de velocidades a 10 minutos, la respuesta estructural debe ser la misma. Comparando las expresiones para el cálculo de las fuerzas se tiene que:

$$F_{e3s}(z) = C_p A_e q_{z3s}(z) \tag{4.34}$$

$$F_{e600s}(z) = C_p A_e q_{z600s}(z) \tag{4.35}$$

Debieran dar los mismos resultados para una misma área, coeficiente de presión, velocidad media y tipo de terreno, por lo que

$$F_{e3s}(z) = F_{e600s}(z) \tag{4.36}$$

Como,

$$q_{z600s}(z) = \left(\frac{1}{2}\rho\right)\left[V_{D600s}(z)\right]^2\left[1+7I_v(z)\right] \tag{4.37}$$

$$q_{z3s}(z) = \left(\frac{1}{2}\rho\right)\left[V_{D3s}(z)\right]^2 \tag{4.38}$$

Los perfiles de velocidades promediados a diferentes tiempos,

$$\left[V_{D3s}(z)\right]^2 = \left[V_{D600s}(z)\right]^2\left[1+7I_v(z)\right] \tag{4.39}$$

$$V_{D3s}(z) = V_{D600s}(z)\sqrt{1+7I_v(z)} \tag{4.40}$$

Como,

$$V_{D600s}(z) = F_T F_{rz}(z)_{600s} V_{R600s} \tag{4.41}$$

$$V_{D3s}(z) = F_T F_{rz}(z)_{3s} V_{R3s} \tag{4.42}$$

La velocidad regional o de base está en m/s, y considerando que el Factor de topografía no depende del tiempo de promediación,

$$F_{rz}(z)V_{R3s} = F_{rz}(z)_{600s} V_{R600s}\sqrt{1+7I_v(z)} \tag{4.43}$$

Para el mismo tiempo de promediación,

$$V_{R600s} = 0.702V_{R3s} \tag{4.44}$$

El perfil de velocidades promediado a 10 minutos,

$$F_{rz}(z)_{600s} = \left(\frac{1.425}{\sqrt{1+7I_v(z)}}\right)F_{rz}(z)_{3s} \tag{4.45}$$

Considerando las expresiones propuestas por el MDOC (2020),

$$F_{rz}(z)_{3s} = c \quad \text{si} \quad z \leq 10.0m \tag{4.46a}$$

$$F_{rz}(z)_{3s} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \quad \text{si} \quad 10.0m \langle z \langle 200m \tag{4.46b}$$

para el cálculo de la intensidad de turbulencia,

$$I_v(z) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_{mín}}{z_0}\right)} \quad \text{para} \quad z \leq z_{mín} \tag{4.47a}$$

$$I_v(z) = \bar{d}\left(\frac{z}{10}\right)^{-\alpha'} \quad \text{para} \quad z_{mín} \langle z \leq 200m \tag{4.47a}$$

Es de notarse que las expresiones para el cálculo de la intensidad de turbulencia, no dependen de la topografía del sitio, como si lo hacen las recomendaciones como el Eurocódigo y el Código Italiano.

Los valores de las constantes necesarias para el cálculo de las ecuaciones 4.46 y 4.47, se resumen en la Tabla 4.12.

Tabla 4.12 Constantes para el cálculo de la ecuación 4.43, MDOC 2008

| Categoría de terreno | $F_{rz}(z)_{3s}$ | | $I_v(z)$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $c$ | $\alpha$ | $z_0(m)$ | $z_{mín}(m)$ | $\bar{d}$ | $\alpha'$ |
| 1 | 1.137 | 0.099 | 0.01 | 1.0 | 0.15 | 0.12 |
| 2 | 1.000 | 0.128 | 0.05 | 2.0 | 0.19 | 0.16 |
| 3 | 0.881 | 0.156 | 0.30 | 5.0 | 0.29 | 0.21 |
| 4 | 0.815 | 0.170 | 1.00 | 10.0 | 0.43 | 0.29 |

Tabla 4.13 Constantes para el cálculo de la ecuación 4.43, MDOC 2020

| Categoría de terreno | $F_{rz}(z)_{3s}$ | | $I_v(z)$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $c$ | $\alpha$ | $z_0(m)$ | $z_{mín}(m)$ | $\bar{d}$ | $\alpha'$ |
| 1 | 1.142 | 0.061 | 0.001 | 1.0 | 0.12 | 0.10 |
| 2 | 1.000 | 0.095 | 0.02 | 2.0 | 0.17 | 0.14 |
| 3 | 0.832 | 0.140 | 0.20 | 5.0 | 0.25 | 0.19 |
| 4 | 0.668 | 0.192 | 1.00 | 10.0 | 0.39 | 0.26 |

Resumiendo, para que la formulación planteada en el MDOC (2020) para el cálculo de las fuerzas estáticas equivalentes, los perfiles de velocidades o mejor dicho los Factores de Exposición deben cumplir, con cierto margen de error con la ecuación:

$$\frac{F_{rz}(z)_{600s} - F'_{rz}(z)}{F_{rz}(z)_{600s}} \times 100 = \%E \tag{4.48}$$

donde,

$$F'_{rz}(z) = \bar{b} \quad \text{si} \quad z \leq 10m \tag{4.49a}$$

$$F'_{rz}(z) = \bar{b}\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha'} \quad \text{si} \quad 10m \langle z \leq 200m \tag{4.49b}$$

Las constantes para su cálculo se resumen en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Constantes para definir el Factor de Exposición, MDOC (2020).

| Categoría del Terreno | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | |
|---|---|---|---|---|
| | $\alpha'$ | $\bar{b}$ | $\alpha'$ | $\bar{b}$ |
| 1 | 0.12 | 1.17 | 0.10 | 1.17 |
| 2 | 0.16 | 1.00 | 0.14 | 1.00 |
| 3 | 0.21 | 0.77 | 0.19 | 0.82 |
| 4 | 0.29 | 0.55 | 0.26 | 0.61 |

Tabla 4.15 Comparación entre perfiles de velocidad promediados a 3s y en 10 min MDOC-2008.

| Altura en (m) | Terreno 1 | | | Terreno 2 | | | Terreno 3 | | | Terreno 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Frz(z)600s | F'rz(z) | Erro r(%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) |
| 0 | 1.0206 | 1.170 | 14.634 | 0.8371 | 1.000 | 19.455 | 0.6722 | 0.770 | 14.550 | 0.5778 | 0.550 | 4.812 |
| 10 | 1.1316 | 1.170 | 3.392 | 0.9335 | 1.000 | 7.118 | 0.7212 | 0.770 | 6.763 | 0.5778 | 0.550 | 4.812 |
| 20 | 1.2376 | 1.271 | 2.741 | 1.0522 | 1.117 | 6.189 | 0.8427 | 0.891 | 5.686 | 0.7022 | 0.672 | 4.243 |
| 30 | 1.3035 | 1.335 | 2.404 | 1.1276 | 1.192 | 5.723 | 0.9221 | 0.970 | 5.180 | 0.7839 | 0.756 | 3.516 |
| 40 | 1.3522 | 1.382 | 2.183 | 1.1841 | 1.248 | 5.428 | 0.9823 | 1.030 | 4.876 | 0.8468 | 0.822 | 2.909 |
| 50 | 1.3911 | 1.419 | 2.023 | 1.2295 | 1.294 | 5.218 | 1.0314 | 1.080 | 4.673 | 0.8986 | 0.877 | 2.384 |
| 60 | 1.4236 | 1.451 | 1.899 | 1.2678 | 1.332 | 5.060 | 1.0732 | 1.122 | 4.527 | 0.9428 | 0.925 | 1.919 |
| 70 | 1.4516 | 1.478 | 1.799 | 1.3011 | 1.365 | 4.935 | 1.1096 | 1.159 | 4.419 | 0.9817 | 0.967 | 1.499 |
| 80 | 1.4763 | 1.502 | 1.715 | 1.3304 | 1.395 | 4.833 | 1.1421 | 1.192 | 4.336 | 1.0165 | 1.005 | 1.115 |
| 90 | 1.4983 | 1.523 | 1.645 | 1.3568 | 1.421 | 4.749 | 1.1714 | 1.221 | 4.272 | 1.0481 | 1.040 | 0.761 |
| 100 | 1.5183 | 1.542 | 1.584 | 1.3809 | 1.445 | 4.677 | 1.1982 | 1.249 | 4.221 | 1.0771 | 1.072 | 0.431 |
| 110 | 1.5366 | 1.560 | 1.531 | 1.4029 | 1.468 | 4.615 | 1.2229 | 1.274 | 4.180 | 1.1038 | 1.102 | 0.122 |
| 120 | 1.5534 | 1.576 | 1.483 | 1.4233 | 1.488 | 4.562 | 1.2459 | 1.298 | 4.147 | 1.1287 | 1.131 | 0.168 |
| 130 | 1.5691 | 1.592 | 1.441 | 1.4423 | 1.507 | 4.515 | 1.2673 | 1.320 | 4.121 | 1.1521 | 1.157 | 0.443 |
| 140 | 1.5837 | 1.606 | 1.403 | 1.4601 | 1.525 | 4.473 | 1.2874 | 1.340 | 4.100 | 1.1741 | 1.182 | 0.705 |
| 150 | 1.5974 | 1.619 | 1.368 | 1.4768 | 1.542 | 4.436 | 1.3064 | 1.360 | 4.083 | 1.1948 | 1.206 | 0.953 |
| 160 | 1.6103 | 1.632 | 1.337 | 1.4926 | 1.558 | 4.402 | 1.3244 | 1.378 | 4.070 | 1.2145 | 1.229 | 1.191 |
| 170 | 1.6225 | 1.644 | 1.308 | 1.5076 | 1.574 | 4.372 | 1.3415 | 1.396 | 4.059 | 1.2333 | 1.251 | 1.419 |
| 180 | 1.6341 | 1.655 | 1.281 | 1.5218 | 1.588 | 4.345 | 1.3578 | 1.413 | 4.052 | 1.2512 | 1.272 | 1.638 |
| 190 | 1.6452 | 1.666 | 1.256 | 1.5354 | 1.602 | 4.321 | 1.3734 | 1.429 | 4.046 | 1.2684 | 1.292 | 1.848 |
| 200 | 1.6557 | 1.676 | 1.233 | 1.5484 | 1.615 | 4.298 | 1.3883 | 1.444 | 4.042 | 1.2848 | 1.311 | 2.051 |

Tabla 4.16 Comparación entre perfiles de velocidad promediados a 3s y en 10 min MDOC-2020.

| Altura en (m) | Terreno 1 | | | Terreno 2 | | | Terreno 3 | | | Terreno 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) |
| 0 | 1.1469 | 1.170 | 2.015 | 0.8977 | 1.000 | 11.401 | 0.6654 | 0.820 | 23.232 | 0.4736 | 0.610 | 28.805 |
| 10 | 1.1997 | 1.170 | 2.475 | 0.9629 | 1.000 | 3.850 | 0.7149 | 0.820 | 14.694 | 0.4736 | 0.610 | 28.805 |
| 20 | 1.2185 | 1.254 | 2.914 | 0.9881 | 1.102 | 11.521 | 0.7448 | 0.935 | 25.597 | 0.5256 | 0.730 | 38.973 |
| 30 | 1.2600 | 1.306 | 3.638 | 1.0419 | 1.166 | 11.935 | 0.8066 | 1.010 | 25.260 | 0.5890 | 0.812 | 37.800 |
| 40 | 1.2902 | 1.344 | 4.167 | 1.0816 | 1.214 | 12.258 | 0.8532 | 1.067 | 25.076 | 0.6381 | 0.875 | 37.076 |
| 50 | 1.3140 | 1.374 | 4.586 | 1.1133 | 1.253 | 12.524 | 0.8909 | 1.113 | 24.964 | 0.6787 | 0.927 | 36.576 |
| 60 | 1.3338 | 1.400 | 4.935 | 1.1398 | 1.285 | 12.753 | 0.9228 | 1.153 | 24.894 | 0.7136 | 0.972 | 36.208 |
| 70 | 1.3506 | 1.421 | 5.234 | 1.1626 | 1.313 | 12.953 | 0.9506 | 1.187 | 24.849 | 0.7443 | 1.012 | 35.925 |
| 80 | 1.3654 | 1.440 | 5.497 | 1.1826 | 1.338 | 13.133 | 0.9752 | 1.217 | 24.821 | 0.7719 | 1.047 | 35.701 |
| 90 | 1.3785 | 1.458 | 5.730 | 1.2006 | 1.360 | 13.295 | 0.9975 | 1.245 | 24.804 | 0.7969 | 1.080 | 35.521 |
| 100 | 1.3903 | 1.473 | 5.942 | 1.2168 | 1.380 | 13.444 | 1.0177 | 1.270 | 24.796 | 0.8200 | 1.110 | 35.372 |
| 110 | 1.4011 | 1.487 | 6.134 | 1.2316 | 1.399 | 13.582 | 1.0363 | 1.293 | 24.793 | 0.8413 | 1.138 | 35.248 |
| 120 | 1.4110 | 1.500 | 6.311 | 1.2453 | 1.416 | 13.709 | 1.0536 | 1.315 | 24.796 | 0.8612 | 1.164 | 35.143 |
| 130 | 1.4201 | 1.512 | 6.475 | 1.2581 | 1.432 | 13.829 | 1.0697 | 1.335 | 24.802 | 0.8799 | 1.188 | 35.055 |
| 140 | 1.4287 | 1.523 | 6.628 | 1.2699 | 1.447 | 13.942 | 1.0847 | 1.354 | 24.811 | 0.8975 | 1.211 | 34.979 |
| 150 | 1.4366 | 1.534 | 6.771 | 1.2811 | 1.461 | 14.048 | 1.0990 | 1.372 | 24.822 | 0.9142 | 1.233 | 34.914 |
| 160 | 1.4441 | 1.544 | 6.905 | 1.2915 | 1.474 | 14.148 | 1.1124 | 1.389 | 24.834 | 0.9301 | 1.254 | 34.858 |
| 170 | 1.4512 | 1.553 | 7.032 | 1.3015 | 1.487 | 14.244 | 1.1252 | 1.405 | 24.848 | 0.9452 | 1.274 | 34.810 |
| 180 | 1.4578 | 1.562 | 7.153 | 1.3109 | 1.499 | 14.335 | 1.1373 | 1.420 | 24.864 | 0.9596 | 1.293 | 34.768 |
| 190 | 1.4642 | 1.571 | 7.267 | 1.3198 | 1.510 | 14.422 | 1.1489 | 1.435 | 24.880 | 0.9735 | 1.312 | 34.732 |
| 200 | 1.4702 | 1.579 | 7.376 | 1.3284 | 1.521 | 14.505 | 1.1600 | 1.449 | 24.896 | 0.9868 | 1.329 | 34.701 |

Tabla 4.17 Comparación entre perfiles de velocidad promediados a 3s y en 10 min MDOC-2008.

| Altura en (m) | Terreno 1 | | | Terreno 2 | | | Terreno 3 | | | Terreno 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Frz(z)600s | F'rz(z) | Erro r(%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) |
| 0 | 1.0206 | 1.170 | 14.634 | 0.8371 | 1.000 | 19.455 | 0.6722 | 0.770 | 14.550 | 0.5778 | 0.550 | 4.812 |
| 10 | 1.1419 | 1.170 | 2.464 | 0.9353 | 1.000 | 6.915 | 0.7253 | 0.770 | 6.167 | 0.5778 | 0.550 | 4.812 |
| 20 | 1.2520 | 1.271 | 1.552 | 1.0575 | 1.117 | 5.653 | 0.8566 | 0.891 | 3.980 | 0.7153 | 0.672 | 5.991 |
| 30 | 1.3194 | 1.335 | 1.170 | 1.1334 | 1.192 | 5.189 | 0.9387 | 0.970 | 3.316 | 0.8005 | 0.756 | 5.513 |
| 40 | 1.3687 | 1.382 | 0.956 | 1.1893 | 1.248 | 4.961 | 0.9997 | 1.030 | 3.056 | 0.8636 | 0.822 | 4.796 |
| 50 | 1.4077 | 1.419 | 0.820 | 1.2340 | 1.294 | 4.836 | 1.0486 | 1.080 | 2.958 | 0.9142 | 0.877 | 4.056 |
| 60 | 1.4402 | 1.451 | 0.727 | 1.2714 | 1.332 | 4.765 | 1.0898 | 1.122 | 2.938 | 0.9568 | 0.925 | 3.344 |
| 70 | 1.4680 | 1.478 | 0.661 | 1.3037 | 1.365 | 4.725 | 1.1254 | 1.159 | 2.959 | 0.9936 | 0.967 | 2.673 |
| 80 | 1.4925 | 1.502 | 0.612 | 1.3321 | 1.395 | 4.705 | 1.1569 | 1.192 | 3.005 | 1.0262 | 1.005 | 2.043 |
| 90 | 1.5143 | 1.523 | 0.575 | 1.3575 | 1.421 | 4.698 | 1.1851 | 1.221 | 3.066 | 1.0555 | 1.040 | 1.452 |
| 100 | 1.5340 | 1.542 | 0.547 | 1.3806 | 1.445 | 4.699 | 1.2108 | 1.249 | 3.134 | 1.0821 | 1.072 | 0.896 |

Continua Tabla 4.17 Comparación entre perfiles de velocidad promediados a 3s y en 10 min MDOC-2008.

| Altura en (m) | Terreno 1 | | | Terreno 2 | | | Terreno 3 | | | Terreno 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Frz(z)600s | F'rz(z) | Erro r(%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) |
| 110 | 1.5519 | 1.560 | 0.525 | 1.4017 | 1.468 | 4.707 | 1.2344 | 1.274 | 3.208 | 1.1066 | 1.102 | 0.370 |
| 120 | 1.5685 | 1.576 | 0.509 | 1.4212 | 1.488 | 4.719 | 1.2563 | 1.298 | 3.285 | 1.1292 | 1.131 | 0.126 |
| 130 | 1.5838 | 1.592 | 0.496 | 1.4393 | 1.507 | 4.734 | 1.2766 | 1.320 | 3.364 | 1.1503 | 1.157 | 0.598 |
| 140 | 1.5981 | 1.606 | 0.486 | 1.4562 | 1.525 | 4.751 | 1.2956 | 1.340 | 3.442 | 1.1701 | 1.182 | 1.047 |
| 150 | 1.6115 | 1.619 | 0.479 | 1.4721 | 1.542 | 4.771 | 1.3135 | 1.360 | 3.521 | 1.1887 | 1.206 | 1.475 |
| 160 | 1.6241 | 1.632 | 0.474 | 1.4871 | 1.558 | 4.791 | 1.3305 | 1.378 | 3.599 | 1.2063 | 1.229 | 1.884 |
| 170 | 1.6361 | 1.644 | 0.471 | 1.5013 | 1.574 | 4.813 | 1.3465 | 1.396 | 3.677 | 1.2230 | 1.251 | 2.276 |
| 180 | 1.6474 | 1.655 | 0.469 | 1.5147 | 1.588 | 4.835 | 1.3617 | 1.413 | 3.753 | 1.2389 | 1.272 | 2.653 |
| 190 | 1.6581 | 1.666 | 0.468 | 1.5276 | 1.602 | 4.858 | 1.3763 | 1.429 | 3.828 | 1.2540 | 1.292 | 3.015 |
| 200 | 1.6683 | 1.676 | 0.468 | 1.5398 | 1.615 | 4.881 | 1.3902 | 1.444 | 3.903 | 1.2685 | 1.311 | 3.364 |

Tabla 4.18 Comparación entre perfiles de velocidad promediados a 3s y en 10 min MDOC-2020.

| Altura en (m) | Terreno 1 | | | Terreno 2 | | | Terreno 3 | | | Terreno 4 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) | Frz(z)600s | F'rz(z) | Error (%) |
| 0 | 1.1469 | 1.170 | 2.015 | 0.8977 | 1.000 | 11.401 | 0.6654 | 0.820 | 23.232 | 0.4736 | 0.610 | 28.805 |
| 10 | 1.2267 | 1.170 | 4.619 | 0.9772 | 1.000 | 2.331 | 0.7099 | 0.820 | 15.512 | 0.4736 | 0.610 | 28.805 |
| 20 | 1.2456 | 1.254 | 0.670 | 1.0043 | 1.102 | 9.721 | 0.7469 | 0.935 | 25.249 | 0.5211 | 0.730 | 40.172 |
| 30 | 1.2873 | 1.306 | 1.439 | 1.0586 | 1.166 | 10.171 | 0.8105 | 1.010 | 24.656 | 0.5884 | 0.812 | 37.945 |
| 40 | 1.3174 | 1.344 | 2.018 | 1.0981 | 1.214 | 10.569 | 0.8575 | 1.067 | 24.445 | 0.6388 | 0.875 | 36.929 |
| 50 | 1.3410 | 1.374 | 2.487 | 1.1294 | 1.253 | 10.919 | 0.8951 | 1.113 | 24.385 | 0.6796 | 0.927 | 36.401 |
| 60 | 1.3604 | 1.400 | 2.882 | 1.1554 | 1.285 | 11.229 | 0.9265 | 1.153 | 24.398 | 0.7141 | 0.972 | 36.116 |
| 70 | 1.3769 | 1.421 | 3.224 | 1.1776 | 1.313 | 11.509 | 0.9537 | 1.187 | 24.448 | 0.7441 | 1.012 | 35.967 |
| 80 | 1.3914 | 1.440 | 3.526 | 1.1971 | 1.338 | 11.763 | 0.9776 | 1.217 | 24.519 | 0.7708 | 1.047 | 35.900 |
| 90 | 1.4042 | 1.458 | 3.797 | 1.2145 | 1.360 | 11.997 | 0.9991 | 1.245 | 24.603 | 0.7948 | 1.080 | 35.885 |
| 100 | 1.4157 | 1.473 | 4.043 | 1.2302 | 1.380 | 12.213 | 1.0185 | 1.270 | 24.692 | 0.8168 | 1.110 | 35.906 |
| 110 | 1.4262 | 1.487 | 4.268 | 1.2445 | 1.399 | 12.413 | 1.0364 | 1.293 | 24.786 | 0.8370 | 1.138 | 35.951 |
| 120 | 1.4358 | 1.500 | 4.476 | 1.2576 | 1.416 | 12.601 | 1.0528 | 1.315 | 24.881 | 0.8557 | 1.164 | 36.012 |
| 130 | 1.4446 | 1.512 | 4.669 | 1.2698 | 1.432 | 12.777 | 1.0682 | 1.335 | 24.976 | 0.8733 | 1.188 | 36.085 |
| 140 | 1.4529 | 1.523 | 4.850 | 1.2811 | 1.447 | 12.944 | 1.0825 | 1.354 | 25.071 | 0.8897 | 1.211 | 36.166 |
| 150 | 1.4606 | 1.534 | 5.019 | 1.2918 | 1.461 | 13.101 | 1.0959 | 1.372 | 25.165 | 0.9052 | 1.233 | 36.253 |
| 160 | 1.4678 | 1.544 | 5.179 | 1.3018 | 1.474 | 13.251 | 1.1086 | 1.389 | 25.258 | 0.9199 | 1.254 | 36.345 |
| 170 | 1.4746 | 1.553 | 5.330 | 1.3112 | 1.487 | 13.394 | 1.1207 | 1.405 | 25.349 | 0.9339 | 1.274 | 36.439 |
| 180 | 1.4811 | 1.562 | 5.473 | 1.3202 | 1.499 | 13.530 | 1.1321 | 1.420 | 25.438 | 0.9472 | 1.293 | 36.534 |
| 190 | 1.4872 | 1.571 | 5.610 | 1.3287 | 1.510 | 13.661 | 1.1430 | 1.435 | 25.526 | 0.9600 | 1.312 | 36.631 |
| 200 | 1.4930 | 1.579 | 5.740 | 1.3368 | 1.521 | 13.786 | 1.1534 | 1.449 | 25.612 | 0.9722 | 1.329 | 36.729 |

Las tablas 4.17 y 4.18 se realizaron utilizando las fórmulas 4.31a y 4.31b de este documento, formulas extraídas del código italiano, 2008; Eurocódigo, 2010.

## 4.9 FORMULACIÓN DEL ASCE 7-16 (2017), 3s

Considerando que la presión debida a la velocidad, evaluada en un punto con altura $z(m)$, según el ASCE 17-16 (2017), la llamada presión de velocidad se calcula con,

$$q_{z3s}(z) = 0.613 V_{R3s}^2 K_z(z) K_{zt} K_d K_e \quad \text{en N/m}^2 \tag{4.50}$$

donde la velocidad básica $V_{R3s}$ en m/s se obtiene de un mapa de igual velocidades, correspondientes a un tiempo de 3s de velocidad de ráfaga medida a 10m de altura en terreno exposición o categoría C (terreno plano con pocas obstrucciones). El coeficiente de exposición evaluado a una altura z es $K_z(z)$; el factor de topografía es $K_{zt}$; el factor de direccionalidad es $K_d$ y $K_e$ es el factor de elevación del terreno. con respecto al nivel del mar, es decir, es un factor correctivo de la densidad del aire.

Se puede ver que la presión debido al viento es,

$$q_{z3s}(z) = \frac{1}{2}(\rho K_e) V_{D3s}^2(z) = (0.613 K_e) V_{D3s}^2(z) \quad \text{en} \quad \text{N/m}^2 \tag{4.51}$$

donde el factor correctivo de la densidad del aire,

$$K_e = e^{-0.000119 z_g} \quad \text{adimensional} \tag{4.52}$$

donde $z_g(m)$ es la altura sobre el nivel del mar. El factor correctivo se permite que sea unitario para todos los casos.

La velocidad de diseño se puede escribir,

$$V_{D3s}(z) = \left(\sqrt{K_z(z) K_{zt} K_d}\right) V_{R3s} \quad \text{en} \quad \text{m/s} \tag{4.53}$$

Considerando que en México el factor de direccionalidad es unitario,

$$K_d = 1.0 \tag{4.54}$$

Y renombrando al factor de topografía como:

$$F_T = \sqrt{K_{zt}} \tag{4.55}$$

y a el factor que representa la velocidad con la altura,

$$F_{rz} = \sqrt{K_t} \tag{4.56}$$

El factor de exposición está definido como,

$$K_z = 2.01\left(\frac{15}{\delta}\right)^{\frac{2}{\alpha}} \text{ para } \quad z \langle\, 4.6m \tag{4.57a}$$

$$K_z = 2.01\left(\frac{z}{\delta}\right)^{\frac{2}{\alpha}} \text{ para } \quad 4.6m \le z \langle \delta \tag{4.57b}$$

Los valores del exponente en función de la exposición del terreno se registran en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19 Constantes de exposición del terreno ASCE/SEI 7-16 (2017).

| Exposición | $\alpha$ | $\delta$ (m) |
|---|---|---|
| B: Edificios u otras estructuras con altura media de su parte superior menor o igual a 9.1m. Debe aplicarse en donde el terreno tiene rugosidad B, es decir, áreas urbanas o suburbanas con numeras obstrucciones. | 7.0 | 365.76 |
| C: Terreno abierto con obstrucciones con alturas menores a 9m, en terreno plano, suburbano o zonas montañas con hielo. | 9.5 | 274.32 |
| D: Terreno plano, sin obstrucciones y superficies con agua | 11.5 | 231.36 |

Rescribiendo las ecuaciones:

$$F_{rz} = 1.42\left(\frac{15}{\delta}\right)^{\alpha} \qquad \text{para} \quad z \langle\ 4.6m \tag{4.58a}$$

$$F_{rz} = 1.42\left(\frac{z}{\delta}\right)^{\alpha} \qquad \text{para} \quad 4.6m \le z \langle \delta \tag{4.58b}$$

El termino,

$$\left(\frac{z_n}{\delta_n}\right)^{\alpha_n} = \left(\frac{15}{\delta_n}\right)^{\alpha_n}\left(\frac{z_n}{15}\right)^{\alpha_n} \tag{4.59}$$

entonces,

$$F_{rz} = 1.42\left(\frac{z}{\delta}\right)^{\alpha} = 1.42\left(\frac{15}{\delta_n}\right)^{\alpha_n}\left(\frac{z_n}{15}\right)^{\alpha_n} \tag{4.60}$$

Y llamando a

$$c = 1.42\left(\frac{15}{\delta_n}\right)^{\alpha_n} \tag{4.61}$$

Se puede escribir,

$$F_{rz} = c\left(\frac{z_n}{15}\right)^{\alpha_n} \tag{4.62}$$

Por tanto, de forma equivalente a la literatura en México (MDOC, 2008; 2020), el factor de exposición con la altura, es

$$F_{rzASCE}(z) = c \qquad \text{para} \quad z \langle\ 4.6m \tag{4.63a}$$

$$F_{rzASCE}(z) = c\left(\frac{z}{15}\right)^{\alpha} \text{para} \quad 4.6m \le z \langle \delta \tag{4.63b}$$

La velocidad de diseño es:

$$V_{D3sASCE}(z) = F_T F_{rzASCE}(z) V_{R3s} \quad \text{en} \quad \text{m/s} \tag{4.64}$$

$$q_{z3sASCE}(z) = \frac{1}{2}(\rho) V^2_{D3sASCE}(z) \qquad \text{en} \qquad \text{N/m}^2 \tag{4.65}$$

$$\rho = 1.225 kg/m^3 \tag{4.66}$$

donde la velocidad regional $V_{R3s}(m/s)$ se obtiene de mapas de igual velocidades en m/s a 10 metros de altura en terreno plano sin obstrucciones y promediado a 3s. Los valores del exponente de variación dependen del tipo de exposición y de la altura gradiente (Tabla 4.20), y se consideró que no hay corrección de la densidad del viento.

Tabla 4.20 Coeficiente de variación de la velocidad con la altura y altura gradiente (adaptado del ASCE 7-16)

| Exposición | $c$ | $\alpha$ | $\delta$ (m) |
|---|---|---|---|
| B: Edificios u otras estructuras con altura media de su parte superior menor o igual a 9.1m. Debe aplicarse en donde el terreno tiene rugosidad B, es decir, áreas urbanas o suburbanas con numeras obstrucciones. | 0.8994 | 0.143 | 365.76 |
| C: Terreno abierto con obstrucciones con alturas menores a 9m, en terreno plano, suburbano o zonas montañas con hielo. | 1.04 | 0.105 | 274.32 |
| D: Terreno plano, sin obstrucciones y superficies con agua | 1.1192 | 0.087 | 231.36 |

La fuerza estática equivalente se calcula con,

$$F_{e3sASCE}(z) = q_{3sASCE}(z) C_f A_s \quad \text{en N} \tag{4.67}$$

Igualando 4.65 con 4.24 MDOC 2020, considerando una misma área perpendicular al viento, un mismo coeficiente de presión,

$$F_{e3sASCE}(z) = q_{3sASCE}(z) C_f A_s \tag{4.68}$$

$$F_{e3s}(z) = C_p A_e q_{z3s}(z) \tag{4.69}$$

Se tiene

$$q_{3sASCE}(z) = q_{z3s}(z) \tag{4.70}$$

O bien,

$$V_{D3sASCE}(z) = V_{D3s}(z) \tag{4.71}$$

Para el mismo sitio, es decir la misma velocidad regional y el mismo factor de topografía

$$F_{rzASCE}(z) = F_{rz}(z) \tag{4.72}$$

donde las expresiones para el cálculo del Factor de exposición con la altura se resumen en la Tabal 4.21 y los valores de las constantes para su cálculo se muestran en la Tabla 4.15.

Tabla 4.21 Expresiones para el cálculo del Factor de exposición.

| ASCE 7-16 | MDOC 2020 |
|---|---|
| $F_{rzASCE}(z) = c$ si $z \langle 4.6m$ | $F_{rz}(z) = c$ si $z \leq 10.0m$ |
| $F_{rzASCE}(z) = c\left(\frac{z}{15}\right)^{\alpha}$ si $4.6m \leq z \langle 200m$ | $F_{rz}(z) = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha}$ si $10.0m \langle z \leq 200m$ |

Tabla 4.22 Coeficiente de variación de la velocidad con la altura.

| Exposición | ASCE 7-16 | | MDOC-2020 | |
|---|---|---|---|---|
| | $c$ | $\alpha$ | $c$ | $\alpha$ |
| B: Edificios u otras estructuras con altura media de su parte superior menor o igual a 9.1m. Debe aplicarse en donde el terreno tiene rugosidad B, es decir, áreas urbanas o suburbanas con numeras obstrucciones. | 0.8994 | 0.143 | 0.832 | 0.140 |
| C: Terreno abierto con obstrucciones con alturas menores a 9m, en terreno plano, suburbano o zonas montañas con hielo. | 1.04 | 0.105 | 1.000 | 0.095 |
| D: Terreno plano, sin obstrucciones y superficies con agua | 1.1192 | 0.087 | 1.142 | 0.061 |

Como puede verse en la Tabla 4.22, el MDOC (2020) presenta prácticamente el mismo perfil de velocidad media que el ASCE 7-16, ambos perfiles son promediados a 3s, por lo que puede ser aceptable desde el punto de vista ingenieril. Los demás factores que intervienen en el cálculo de la velocidad de diseño como son el Factor de Topografía, densidad del aire, clasificación del terreno, etc, no dependen del tiempo de promediación, por lo que el MDOC (2020) los ha adoptado de otras referencias.

### 4.9.1 Fuerza dinámica equivalente

En la sección 29.3 del ASCE 7-16, para el diseño de fuerzas en una pared sólida o un letrero espectacular, la fuerza se determina con:

$$F_d = F_e G \quad \text{en N} \tag{4.73}$$

donde $q(h)_{3s}$ es la presión de velocidad evaluada a una altura $z = h$ con la ecuación 4.38, $C_f$ es el coeficiente de forma neto (coeficiente de arrastre), $A_s$ es el área total de la sección sólida del letrero en m$^2$; el factor por efecto de ráfaga, $G$, se calcula con el procedimiento específico de estructuras flexibles (sección 26.11.5 del ASCE), y se referencia a un tiempo de una hora.

$$G = 0.925\left[\frac{1+1.7I_{\bar{z}}\sqrt{g_Q^2Q^2+g_R^2R^2}}{1+1.7g_vI_{\bar{z}}}\right] \tag{4.74}$$

donde,

$$g_Q = 3.4 \tag{4.75}$$

$$g_v = 3.4 \tag{4.76}$$

Entonces:

$$G = 0.925\left[\frac{1+1.7I_{\bar{z}}\sqrt{11.56Q^2+g_R^2R^2}}{1+5.78I_{\bar{z}}}\right] \tag{4.77}$$

y

$$g_R = \sqrt{2\ln(3{,}600n_1)} + \frac{0.577}{\sqrt{2\ln(3{,}600n_1)}} \tag{4.78}$$

El factor de resonancia es:

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta}R_nR_hR_B(0.53+0.47R_L)} \tag{4.79}$$

donde,

$$\beta = 0.02 \tag{4.80}$$

$$R_n = \frac{7.47 N_1}{\left(1+10.3N_1\right)^{5/3}} \tag{4.81}$$

$$N_1 = \frac{n_1 L_{\bar{z}}}{\bar{V}_{\bar{z}}} \tag{4.82}$$

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2}\left(1-e^{-2\eta_h}\right) \text{ para } \eta_h \rangle 0 \tag{4.83}$$

$$R_h = 1 \text{ para } \eta_h = 0 \tag{4.84}$$

donde,

$$\eta_h = \frac{4.6 n_1 h}{\bar{V}_{\bar{z}}} \tag{4.85}$$

$$R_B = \frac{1}{\eta_B} - \frac{1}{2\eta_B^2}\left(1-e^{-2\eta_B}\right) \text{ para } \eta_B \rangle 0 \tag{4.86}$$

$$R_B = 1 \text{ para } \eta_B = 0 \tag{4.87}$$

donde,

$$\eta_B = \frac{4.6 n_1 B}{\bar{V}_{\bar{z}}} \tag{4.88}$$

$$R_L = \frac{1}{\eta_L} - \frac{1}{2\eta_L^2}\left(1-e^{-2\eta_L}\right) \text{ para } \eta_L \rangle 0 \tag{4.89}$$

$$R_L = 1 \text{ para } \eta_L = 0 \tag{4.90}$$

donde,

$$\eta_L = \frac{15.4 n_1 L}{\bar{V}_{\bar{z}}} \tag{4.91}$$

La velocidad media horaria en m/s a una altura $\bar{z}$ se determina con:

$$\bar{V}_{\bar{z}} = \bar{b}\left(\frac{\bar{z}}{10}\right)^{\bar{\alpha}} V_D \tag{4.92}$$

Se observa que la velocidad $V_D$, está promediada a 3s, pero al multiplicarla por

$$\bar{b}\left(\frac{\bar{z}}{10}\right)^{\bar{\alpha}} \tag{4.93}$$

Se está convirtiendo a un tiempo de promediación de una hora. Los valores para convertir el perfil de velocidad a una hora se muestran en la Tabla 4.23. En las ecuaciones anteriores, $h(m)$, es la altura máxima del letrero; $B(m)$ es la dimensión perpendicular del letrero o ancho del letrero; $L(m)$ es la dirección paralela al viento del letrero, es decir, el ancho. La frecuencia fundamental del oscilador es, $n_1(Hz)$.

Tabla 4.23. Coeficiente de variación de la velocidad con la altura y altura gradiente (adaptado del ASCE 7-16)

| Exposición | $\bar{b}$ | $\bar{\alpha}$ |
|---|---|---|
| B: Edificios u otras estructuras con altura media de su parte superior menor o igual a 9.1m. Debe aplicarse en donde el terreno tiene rugosidad B, es decir, áreas urbanas o suburbanas con numeras obstrucciones. | 0.45 | 0.25 |
| C: Terreno abierto con obstrucciones con alturas menores a 9m, en terreno plano, suburbano o zonas montañas con hielo. | 0.65 | 0.1538 |
| D: Terreno plano, sin obstrucciones y superficies con agua | 0.80 | 0.1111 |

## 4.10 FORMULACIÓN DEL CÓDIGO EUROPEO EN-1991

### 4.10.1 Velocidad básica del viento

El cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento con el código europeo EN-1991-4 comienza con el cálculo de la velocidad básica del viento (vb), en m/s.

La cual es la velocidad básica fundamental del viento modificada para tomar en cuenta la dirección del viento a considerar y, en caso de ser necesario, la estación del año, a partir de esta velocidad se calculan los efectos del viento sobre la estructura y se obtendrá con la ecuación:

$$v_b = c_{prob} c_{dir} c_{season} v_{b,0} \tag{4.94}$$

donde $c_{dir}$ es el factor direccional para diferentes direcciones del viento, adimensional y el código europeo lo recomienda igual a 1, $c_{season}$ es el factor estacional, adimensional y el código europeo lo recomienda igual a 1, $v_{b,0}$ (m/s) es la velocidad media del viento con un promediada a 10 min, y $c_{prob}$ es el factor que representa la probabilidad anual que tiene la velocidad media de ser superada.

Debido a que estos factores no se encuentran en los otros manuales de estudios y para que ni influyan en la respuesta, se tomarán unitarios, por lo que tenemos que:

$$v_b = v_{b,0} \tag{4.95}$$

### 4.10.2 Velocidad media del viento

La velocidad media del viento promediada a 10 minutos, $v_m$ (m/s), es dada por los anexos nacionales correspondientes a cada zona dentro de la unión europea.

$$v_m(z) = c_r(z) c_o(z) v_b \tag{4.96}$$

donde $c_r$ es el factor de rugosidad definido por las ecuaciones 4.97, $c_o$ es coeficiente topográfico, adimensional, y $v_b$ (m/s) es la velocidad básica del viento.

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \qquad para\ z_{mín} \le z \le z_{máx} \tag{4.97a}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{mín}) \qquad para\ z \le z_{mín} \tag{4.97b}$$

$$k_r = 0.19\left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \tag{4.97c}$$

La Figura 4.6 muestra la categoría del terreno según su rugosidad para el código europeo, para tomar en cuenta tanto la exposición como la topografía del terreno.

**Tabla 4.1**
**Categorías de terrenos y parámetros del terreno**

| | Categoría de terreno | $z_0$ m | $z_{min}$ m |
|---|---|---|---|
| 0 | Mar abierto o zona costera expuesta al mar abierto | 0,003 | 1 |
| I | Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos | 0,01 | 1 |
| II | Áreas con vegetación baja, como hierba, y obstáculos aislados (árboles, edificaciones) con separaciones de al menos 20 veces la altura de los obstáculos | 0,05 | 2 |
| III | Áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes) | 0,3 | 5 |
| IV | Áreas en las que al menos un 15% de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m | 1,0 | 10 |
| NOTA – Las categorías de terrenos se ilustran en el capítulo A.1. | | | |

Figura 4.6 Categorías de terrenos y parámetros del terreno (EN-1991).

### 4.10.3 Intensidad de la turbulencia

La intensidad de la turbulencia, es la representación de la intensidad del flujo del viento, y se calcula como se muestra a continuación:

$$I_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z)\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \qquad para\ \ z_{mín} \le z \le z_{máx} \tag{4.98a}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{mín}) \qquad para\ \ z \le z_{mín} \tag{4.98b}$$

donde $k_1$ es el factor de turbulencia, adimensional, se recomienda que sea igual a 1, $c_o$ es el coeficiente topográfico, adimensional, y $z_0$ (m) es la longitud de la rugosidad, ver figura 4.6.

### 4.10.4 Cálculo de la presión correspondiente a la velocidad pico

La presión correspondiente a la velocidad pico, $q_p$ (Pa), incluye la velocidad media del viento y la fluctuación a corto plazo de la velocidad del viento y se determina de la siguiente manera:

$$q_p = \left[1 + 7I_v(z)\right] * \frac{1}{2}\rho v_m^2(z) \tag{4.99}$$

donde ρ (kg/m$^3$) es la densidad del aire, la cual depende de la altitud, temperatura y presión barométrica.

### 4.10.5 Cálculo del factor estructural

El factor estructural es utilizado para tomar en cuenta la ocurrencia de los picos de presión del viento sobre la superficie (cs), además del efecto de las vibraciones ocasionadas por la turbulencia (cd).

Por lo tanto, el factor estructural se calculará con la expresión 4.100:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2k_p I_v(z_s)\sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \tag{4.100}$$

donde $k_p$ es el factor pico, adimensional, $I_v$ es la intensidad de la turbulencia, evaluado a la altura de referencia, zs (m), adimensional, $B^2$ es el factor de respuesta de fondo, adimensional, $R^2$ es el factor de respuesta en resonancia, adimensional, y $z_s$ (m) es la altura de referencia, (ver figura 4.7).

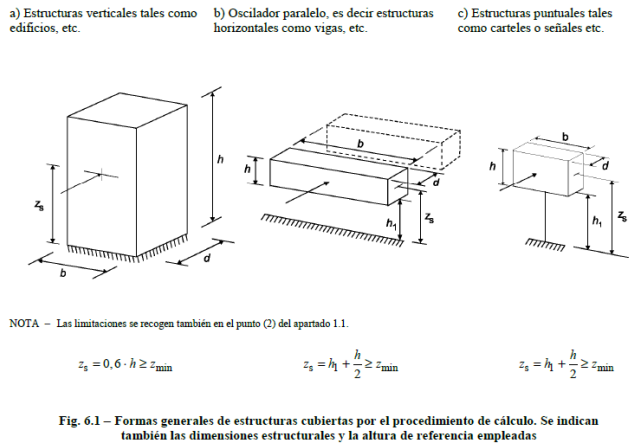



Figura 4.7 Formas generales de estructuras (EN-1991).

### 4.10.6 Factor de respuesta de fondo y factor de respuesta en resonancia

Los factores de respuesta de fondo y de respuesta en resonancia toman en cuenta la falta de correlación de la presión en las superficies de la estructura y el efecto de la turbulencia del local del viento en resonancia con el modo de vibración de la estructura.
El factor de respuesta de fondo, B2, se calcula como:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9\left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0.63}} \tag{4.101}$$

En donde b (m) es el ancho de la estructura, h (m) es la altura de la estructura, y $L(z_s)$ es la escala integral de la longitud de turbulencia a una altura de referencia, $z_s$ (m).

La escala integral de la longitud de turbulencia representa el tamaño promedio de las ráfagas de viento. Para alturas de referencia, $z_s$ (m), menores que 200 m, y se calcula de la siguiente manera:

$$L(z) = L_t \left( \frac{z_s}{z_t} \right)^{\alpha} \qquad z \geq z_{mín} \tag{4.102a}$$

$$L(z) = L(z_{mín}) \quad z < z_{mín} \tag{4.102b}$$

$$\alpha = 0.67 + 0.05 \ln(z_0) \tag{4.102c}$$

El factor de respuesta en resonancia, $R^2$, se determina como se muestra a continuación:

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta} S_L(z_s, n_{1,x}) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \tag{4.103}$$

donde $S_L(z_s,n_{1,x})$ es la función de densidad espectral de potencia, adimensional, n1,x (Hz) es la frecuencia natural de vibración de la estructura en la dirección del viento, $R_h(\eta_h)$ y $R_b(\eta_b)$ son las funciones de admitancia aerodinámica, adimensionales, y $\zeta$ es el amortiguamiento total, adimensional.

La función de densidad espectral de potencia describe la distribución de la turbulencia del viento en un sitio con respecto a intervalos de frecuencias, y se determina usando la siguiente expresión:

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6.8 f_L(z,n)}{\left[1 + 10.2 f_L(z,n)\right]^{5/3}} \tag{4.104a}$$

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{n_{1,x} L(z_s)}{v_m(z_s)} \tag{4.104b}$$

Las funciones de admitancia aerodinámica Rh y Rb para una forma modal fundamental se determinan como se muestra a continuación.

La función $R_h$, para la forma modal fundamental, se determina de la siguiente manera:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2}\left(1 - e^{-2\eta_h}\right) \qquad R_h = 1 \text{ para } \eta_h = 0 \tag{4.105}$$

En donde:

$$\eta_h = \frac{4.6h}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x})$$

Mientras que, $R_b$, para la forma modal fundamental, se determina como:

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2}\left(1 - e^{-2\eta_b}\right) \qquad R_b = 1 \text{ para } \eta_b = 0 \tag{4.106}$$

En donde:

$$\eta_b = \frac{4.6b}{L(z_s)} f_L(z_s, n_{1,x})$$

### 4.10.7 Factor pico

El factor pico, $k_p$, se define como la relación del valor máximo de las fluctuaciones de la respuesta entre su desviación estándar; depende de un intervalo de tiempo T, de 600 segundos, con el que se calcula la respuesta máxima, y del intervalo de frecuencias de esta respuesta.

El factor pico, adimensional, se expresa como:

$$k_p = \sqrt{2\ln(vT)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(vT)}} \geq 3 \tag{4.107}$$

donde v (Hz) es la frecuencia media de oscilación y se define como se muestra a continuación:

$$v = n_{1,x}\sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0.08 \tag{4.108}$$

### 4.10.8 Fuerza del viento

La fuerza del viento, $F_w$, en N, se obtiene, para una altura sobre el nivel del terreno, z, en m, con la expresión 4.109:

$$F_w = c_s c_d c_f q_p A_{ref} \tag{4.109}$$

donde $c_f$ es el coeficiente de fuerza, para el elemento estructural, y $A_{ref}$ ($m^2$) es el área de exposición.

## 4.11 RESPUESTA DE ANUNCIOS ESPECTACULARES SOMETIDOS A CARGAS DE VIENTO, CON EL MÉTODO DEL MDOC, DISEÑO POR VIENTO 2008 Y 2020, EL CÓDIGO EUROPEO EN-1991, EL MANUAL ASCE Y EL PROCESAMIENTO DE SEÑALES

Por medio del proceso anterior para obtener las fuerzas, tanto en la cartelera como en el tubo fueron realizados para 4 tipos de anuncios diferentes, con características diferentes, mismas que fueron descritas en el capítulo 2. A continuación se muestra el resumen de la respuesta para los 4 anuncios de estudio, los desplazamientos son pertenecientes a tres nodos específicos de la cartelera, los cuales son los nodos 42 y 66, ubicados en los extremos de la cartelera y el nodo 54 ubicado al centro, estos nodos son los de referencia para tres de los cuatro anuncios, la excepción es el denominado “Letrero 3”.

Cabe mencionar que para que la comparativa de la respuesta para los manuales de estudios y el procesamiento de señales se utilizaron los procedimientos descritos por dichos manuales, pero utilizando valores iguales para factores como el que representa la topografía, el cual se utilizó igual

a 1, del mismo modo que el factor G para corregir la densidad del aire con respecto a la altura que también se utilizó igual a 1, la densidad del aire igual a 1.225 kg/m$^3$, el coeficiente de presión de 2.2 y un amortiguamiento del 2% para la estructura, con esto se busca no influir en la respuesta y que la comparativa sea representativa de los métodos descritos en cada uno de los manuales de estudio.

Además, para el cálculo de las fuerzas en el tubo se utilizó el coeficiente de arrastre del MDOC 2020, para todos los manuales y el procesamiento de señales, a continuación, se muestra de manera gráfica el incremento de la fuerza con respecto a las diferentes velocidades de estudio para el centro de la cartelera y las fuerzas en el poste para una velocidad de 10 m/s, la cual es mostrada como ejemplo.

Tabla 4.24 Fuerzas en la cartelera para los diferentes códigos de viento estudiados.

| Fuerzas en la parte media de la cartelera | | | | |
|---|---|---|---|---|
| V (m/s) | $F_{ASCE}$ (kg) | $F_{EN\ 1991}$ (kg) | $F_{2008}$ (kg) | $F_{2020}$ (kg) |
| 5 | 548.5326 | 661.2478 | 588.2058 | 513.8057 |
| 10 | 2200.5495 | 2807.3806 | 2499.9197 | 2178.3463 |
| 15 | 4984.5670 | 6633.9995 | 5908.7179 | 5144.8627 |
| 20 | 8960.1282 | 12383.2633 | 11029.9656 | 9600.0957 |
| 25 | 14216.8873 | 20307.1653 | 18089.9759 | 15736.5069 |
| 30 | 20867.6354 | 30636.0718 | 27297.5106 | 23728.516 |
| 35 | 29039.3553 | 43568.5526 | 38833.7286 | 33725.511 |
| 40 | 38865.0309 | 59272.4326 | 52852.4453 | 45853.2029 |

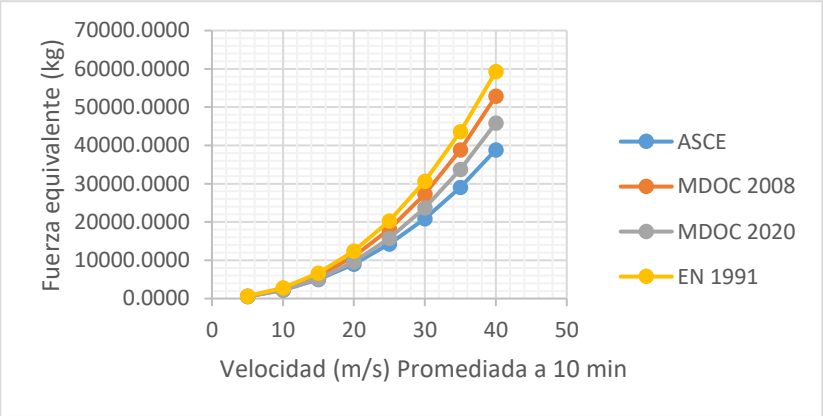



Figura 4.8 Fuerzas en la cartelera.

Tabla 4.25 Fuerzas en el tubo, MDOC 2008.

| z (m) | $V_D$ (m/s) | $q_z$ (N/m$^2$) | Pz (N/m$^2$) | $A_{exp}$ (m$^2$) | $F_{eq}$ (N) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.185 | 12.55 | 96.4681 | 69.8333 | 2.167128 | 137.1670 |
| 3.555 | 12.55 | 96.4681 | 69.8333 | 2.167128 | 137.1670 |
| 5.925 | 12.55 | 96.4681 | 69.8333 | 2.167128 | 137.1670 |
| 8.295 | 12.55 | 96.4681 | 69.8333 | 2.167128 | 137.1670 |

Continua Tabla 4.25 Fuerzas en el tubo, MDOC 2008.

| z (m) | $V_D$ (m/s) | $q_z$ (N/m$^2$) | Pz (N/m$^2$) | $A_{exp}$ (m$^2$) | $F_{eq}$ (N) |
|---|---|---|---|---|---|
| 10.665 | 12.68 | 98.4255 | 71.2502 | 2.167128 | 139.9502 |
| 13.035 | 13.08 | 104.7848 | 75.8537 | 2.167128 | 148.9925 |
| 15.405 | 13.42 | 110.3911 | 79.9121 | 2.167128 | 156.9640 |
| 17.775 | 13.73 | 115.4315 | 83.5609 | 2.167128 | 164.1309 |
| 20.145 | 14.00 | 120.0284 | 86.8885 | 2.167128 | 170.6671 |
| 22.515 | 14.24 | 124.2667 | 89.9567 | 2.167128 | 176.6936 |

Tabla 4.26 Fuerzas en el tubo, MDOC 2020.

| z (m) | $V_D$ (m/s) | $q_z$ (N/m$^2$) | Pz (N/m$^2$) | $A_{exp}$ (m$^2$) | $F_{eq}$ (N) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.185 | 11.85 | 86.0357 | 62.2842 | 2.167128 | 123.4754 |
| 3.555 | 11.85 | 86.0357 | 62.2842 | 2.167128 | 123.4754 |
| 5.925 | 11.85 | 86.0357 | 62.2842 | 2.167128 | 123.4754 |
| 8.295 | 11.85 | 86.0357 | 62.2842 | 2.167128 | 123.4754 |
| 10.665 | 11.96 | 87.6007 | 63.4172 | 2.167128 | 125.7215 |
| 13.035 | 12.30 | 92.6637 | 67.0825 | 2.167128 | 132.9877 |
| 15.405 | 12.59 | 97.1010 | 70.2948 | 2.167128 | 139.3560 |
| 17.775 | 12.85 | 101.0707 | 73.1686 | 2.167128 | 145.0531 |
| 20.145 | 13.07 | 104.6756 | 75.7783 | 2.167128 | 150.2267 |
| 22.515 | 13.28 | 107.9868 | 78.1754 | 2.167128 | 154.9789 |

Tabla 4.27 Fuerzas en el tubo, código europeo EN-1991.

| z (m) | $C_o$ | $C_{rEN\ 1991}$ | $v_m(z)$ (m/s) | $I_v(z)$ | $q_p$ (z)(N/m$^2$) | $C_{pe}$ | $A_{ref}$ (m$^2$) | $F_{eq}$ (N) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.185 | 1 | 0.60598 | 6.0598 | 0.35544 | 78.4526 | 0.7239 | 2.167128 | 112.0499 |
| 3.555 | 1 | 0.60598 | 6.0598 | 0.35544 | 78.4526 | 0.7239 | 2.167128 | 112.0499 |
| 5.925 | 1 | 0.64254 | 6.4254 | 0.33522 | 84.6248 | 0.7239 | 2.167128 | 120.8653 |
| 8.295 | 1 | 0.71501 | 7.1501 | 0.30124 | 97.3436 | 0.7239 | 2.167128 | 139.0309 |
| 10.665 | 1 | 0.76914 | 7.6914 | 0.28004 | 107.2632 | 0.7239 | 2.167128 | 153.1985 |
| 13.035 | 1 | 0.81236 | 8.1236 | 0.26514 | 115.4415 | 0.7239 | 2.167128 | 164.8792 |
| 15.405 | 1 | 0.84835 | 8.4835 | 0.25389 | 122.4244 | 0.7239 | 2.167128 | 174.8525 |
| 17.775 | 1 | 0.87917 | 8.7917 | 0.24499 | 128.5321 | 0.7239 | 2.167128 | 183.5758 |
| 20.145 | 1 | 0.90613 | 9.0613 | 0.23770 | 133.9696 | 0.7239 | 2.167128 | 191.3420 |
| 22.515 | 1 | 0.93008 | 9.3008 | 0.23158 | 138.8763 | 0.7239 | 2.167128 | 198.3500 |

Tabla 4.28 Fuerzas en el tubo, manual ASCE.

| z (m) | $F_T$ | $F_{rzASCE}$ | $V_{D3sASCE}(z)$ (m/s) | $q_z$ (N/m$^2$) | $C_f$ | $A_f$ (m$^2$) | F (N) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.185 | 1 | 0.8994 | 12.8120 | 100.5397 | 0.7239 | 2.167128 | 139.2132 |
| 3.555 | 1 | 0.8994 | 12.8120 | 100.5397 | 0.7239 | 2.167128 | 139.2132 |
| 5.925 | 1 | 0.78752848 | 11.2184 | 77.0840 | 0.7239 | 2.167128 | 106.7351 |
| 8.295 | 1 | 0.82634723 | 11.7713 | 84.8706 | 0.7239 | 2.167128 | 117.5168 |
| 10.665 | 1 | 0.85658455 | 12.2021 | 91.1953 | 0.7239 | 2.167128 | 126.2744 |
| 13.035 | 1 | 0.8815211 | 12.5573 | 96.5822 | 0.7239 | 2.167128 | 133.7335 |
| 15.405 | 1 | 0.90283307 | 12.8609 | 101.3087 | 0.7239 | 2.167128 | 140.2780 |
| 17.775 | 1 | 0.92149845 | 13.1268 | 105.5410 | 0.7239 | 2.167128 | 146.1383 |
| 20.145 | 1 | 0.93814021 | 13.3638 | 109.3874 | 0.7239 | 2.167128 | 151.4643 |
| 22.515 | 1 | 0.95318088 | 13.5781 | 112.9230 | 0.7239 | 2.167128 | 156.3599 |

### 4.11.1 Respuesta del "Letrero 1"

El denominado "Letrero 1" es el anuncio que cuenta con el tubo de soporte al centro de la estructura, la figura 4.9 muestra los nodos en los que se obtuvieron los desplazamientos en este anuncio, por otro lado, la tabla 4.29 muestra los desplazamientos en dichos nodos para los manuales anteriores y el procesamiento de señales.

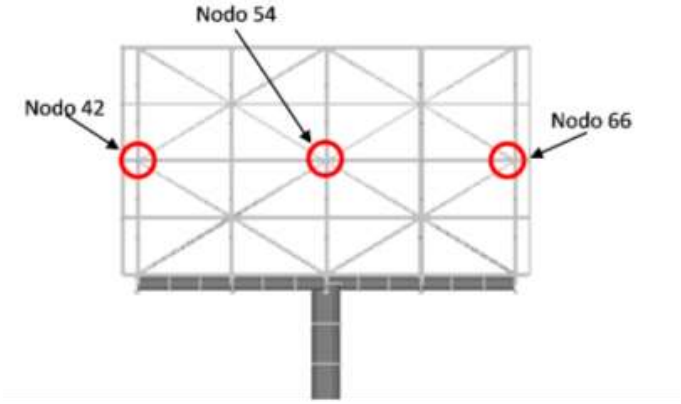



Figura 4.9 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del "Letrero 1".

Tabla 4.29 Desplazamientos en nodos del "Letrero 1".

| | Señales | | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | | ASCE | | EN 1991 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 |
| Velocidad media | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | |
| m/s | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm |
| 5 | 6.495 | 6.175 | 4.217 | 3.959 | 3.685 | 3.459 | 3.933 | 3.692 | 4.739 | 4.448 |
| 10 | 28.55 | 27.10 | 17.78 | 16.69 | 15.50 | 14.54 | 15.66 | 14.69 | 19.97 | 18.73 |
| 15 | 66.35 | 62.91 | 42.07 | 39.47 | 36.63 | 34.38 | 35.49 | 33.299 | 47.213 | 44.299 |
| 20 | 119.1 | 112.71 | 78.56 | 73.71 | 68.39 | 64.18 | 63.83 | 59.89 | 88.17 | 82.73 |

Continua Tabla 4.29 Desplazamientos en nodos del “Letrero 1”.

| | Señales | | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | | ASCE | | EN 1991 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 |
| Velocidad media | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | |
| m/s | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm |
| 25 | 192.0 | 183.3 | 128.88 | 120.94 | 112.15 | 105.24 | 101.31 | 95.06 | 144.64 | 135.72 |
| 30 | 276.2 | 262.7 | 194.54 | 182.55 | 169.15 | 158.73 | 148.74 | 139.57 | 218.27 | 204.81 |
| 35 | 418.4 | 399.28 | 276.82 | 259.76 | 240.47 | 225.66 | 207.03 | 194.28 | 310.48 | 291.34 |
| 40 | 568.6 | 537.91 | 376.82 | 353.60 | 327.01 | 306.87 | 277.14 | 260.07 | 422.47 | 396.43 |

Debido a la simetría, los nodos 42 y 66 tienen los mismos desplazamientos, por lo que solo se muestra el nodo 42, por otro lado, el nodo 54 tiene desplazamientos menores a los extremos, esto debido a que el tubo que se usa de soporte para la cartelera se encuentra en el centro, las figuras 4.10 y 4.11 muestran una comparativa de la respuesta de los manuales mencionados con el procesamiento de señales.

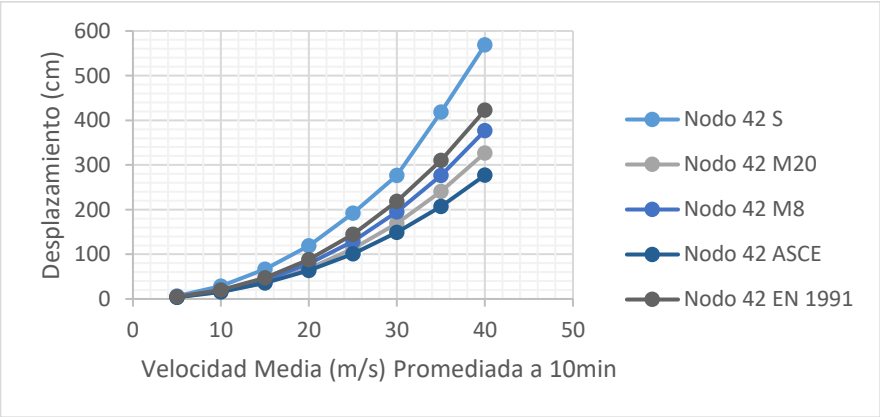



Figura 4.10 Respuesta del nodo 42 “Letrero 1”.

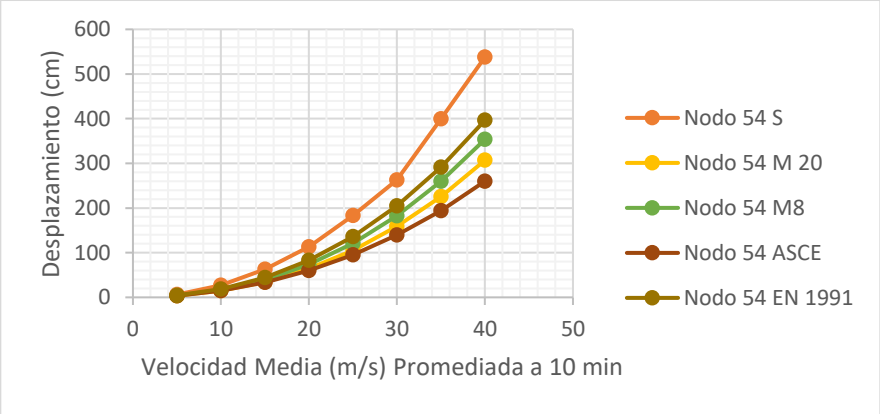



Figura 4.11 Respuesta del nodo 54 “Letrero 1”.

### 4.11.2 Respuesta del "Letrero 2"

El "Letrero 2" es el anuncio que cuenta con el tubo de soporte posicionado entre el centro y un extremo de la cartelera, la figura 4.12 muestra los nodos en los que se obtuvieron los desplazamientos en este anuncio, además, la tabla 4.30 la respuesta de todos los casos de estudio.

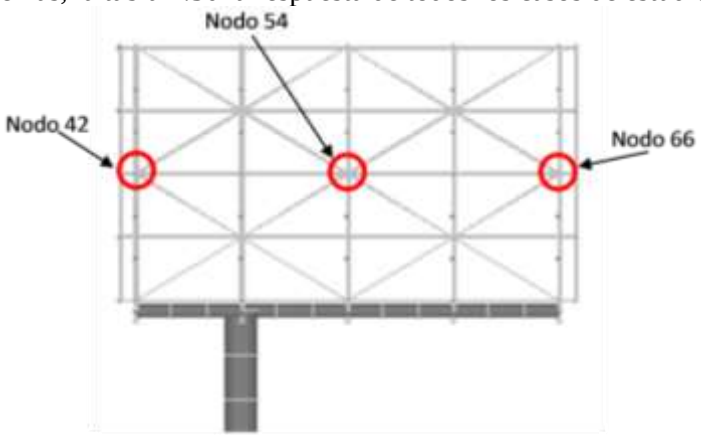



Figura 4.12 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del "Letrero 2".

Tabla 4.10 Desplazamientos en nodos del "Letrero 2".

| | Señales | | | MDOC 2008 | | | MDOC 2020 | | | ASCE | | | EN 1991 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
| Velocidad media | Desplazamiento | | | Desplazamiento | | | Desplazamiento | | | Desplazamiento | | | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm |
| 5 | 5.96 | 7.03 | 8.58 | 3.78 | 4.46 | 5.52 | 3.30 | 3.89 | 4.83 | 3.52 | 4.15 | 5.15 | 4.24 | 5.01 | 6.21 |
| 10 | 26.83 | 31.70 | 38.69 | 15.93 | 18.82 | 23.36 | 13.88 | 16.40 | 20.36 | 14.01 | 16.55 | 20.54 | 17.88 | 21.13 | 26.22 |
| 15 | 55.43 | 65.11 | 81.07 | 37.72 | 44.56 | 55.30 | 32.85 | 38.81 | 48.16 | 31.77 | 37.53 | 46.57 | 42.33 | 50.02 | 62.08 |
| 20 | 112.9 | 131.4 | 161.0 | 70.53 | 83.32 | 103.4 | 61.41 | 72.54 | 90.01 | 57.17 | 67.53 | 83.80 | 79.16 | 93.52 | 116.1 |
| 25 | 178.9 | 209.8 | 255.9 | 115.9 | 136.8 | 169.8 | 100.8 | 119.1 | 147.7 | 90.82 | 107.3 | 133.1 | 130.0 | 153.6 | 190.6 |
| 30 | 250.3 | 294.6 | 359.3 | 175.0 | 206.7 | 256.5 | 152.2 | 179.7 | 223.0 | 133.5 | 157.6 | 195.6 | 196.4 | 231.9 | 287.8 |
| 35 | 402.7 | 467.5 | 566.4 | 249.2 | 294.3 | 365.2 | 216.5 | 255.7 | 317.2 | 185.9 | 219.6 | 272.5 | 279.5 | 330.1 | 409.6 |
| 40 | 485.8 | 566.7 | 689.8 | 339.4 | 400.8 | 497.3 | 294.5 | 347.8 | 431.5 | 249.2 | 294.3 | 365.1 | 380.5 | 449.4 | 557.6 |

Este anuncio se encuentra en forma de bandera, por lo que mientras más alejado del tubo de soporte este el nodo, mayor será su desplazamiento. A continuación, se muestran de manera gráfica los desplazamientos en los tres nodos representativos, la figuras 4.13, 4.14 y 4.15 muestran una comparativa de la respuesta.

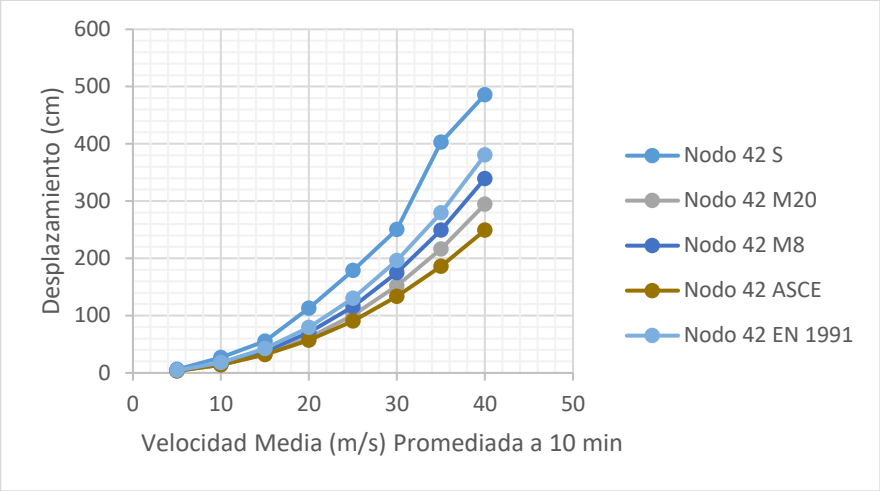



Figura 4.13 Respuesta del nodo 42 “Letrero 2”.

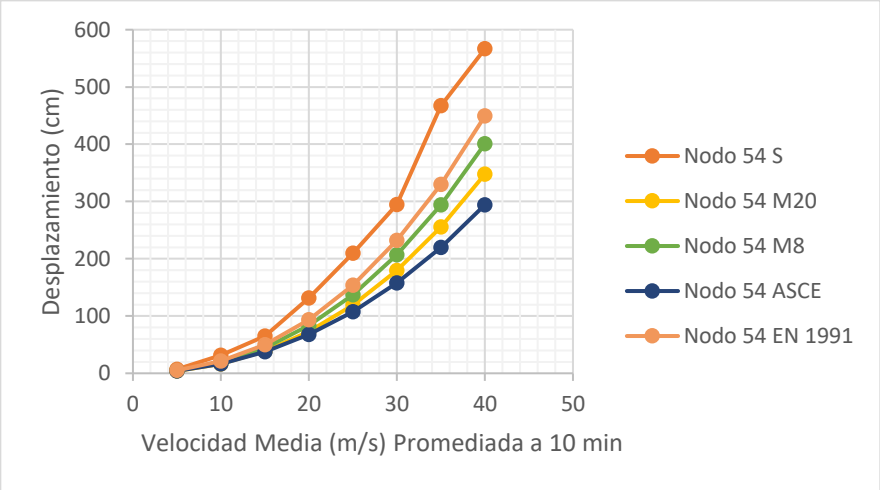



Figura 4.14 Respuesta del nodo 54 “Letrero 2”.

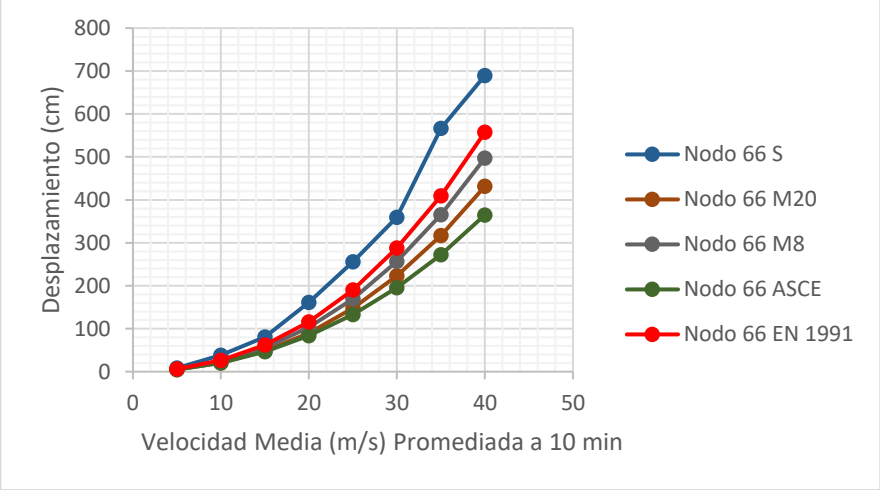



Figura 4.15 Respuesta del nodo 66 “Letrero 2”.

### 4.11.3 Respuesta del "Letrero 3"

El "Letrero 3" es el anuncio con tres caras, las tres de las mismas dimensiones, tomando el desplazamiento de los nodos en la cara cargada con las acciones del viento, la figura 4.15 muestra los nodos en los que se obtuvieron los desplazamientos en este anuncio, por otro lado, la tabla 4.11 muestra los desplazamientos en dichos nodos para ambas versiones del manual.

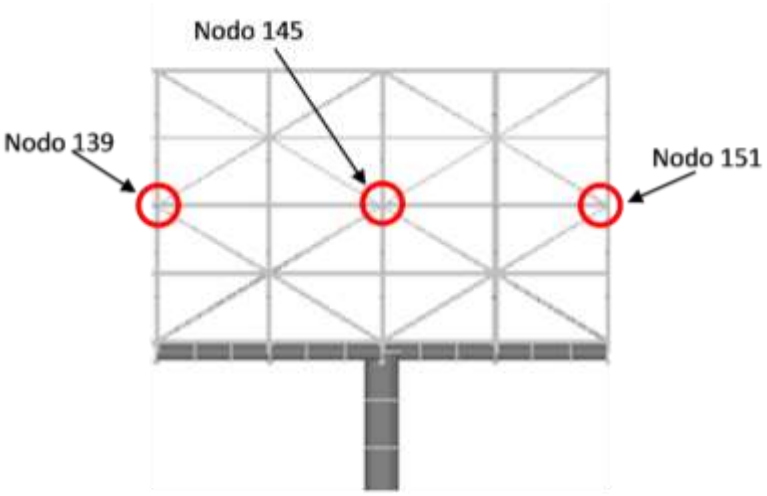



Figura 4.15 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del "Letrero 3".

Tabla 4.11 Desplazamientos en nodos del "Letrero 3".

| | Señales | | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | | ASCE | | EN 1991 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 139 | Nodo 145 |
| Velocidad media | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | |
| m/s | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm |
| 5 | 5.94 | 6.10 | 3.81 | 3.92 | 3.32 | 3.43 | 3.50 | 3.61 | 4.28 | 4.41 |
| 10 | 27.59 | 28.47 | 16.39 | 16.90 | 14.29 | 14.74 | 14.01 | 14.44 | 18.41 | 18.98 |
| 15 | 58.92 | 60.41 | 39.93 | 41.18 | 34.78 | 35.87 | 32.19 | 33.19 | 44.83 | 46.23 |
| 20 | 123.32 | 126.09 | 76.50 | 78.89 | 66.55 | 68.63 | 58.99 | 60.83 | 85.85 | 88.53 |
| 25 | 169.21 | 173.10 | 127.85 | 131.85 | 111.03 | 114.50 | 95.62 | 98.61 | 143.38 | 147.86 |
| 30 | 274.40 | 281.68 | 195.32 | 201.41 | 169.32 | 174.60 | 143.38 | 147.86 | 218.87 | 225.71 |
| 35 | 407.99 | 417.01 | 279.93 | 288.66 | 242.24 | 249.80 | 203.49 | 209.84 | 313.45 | 323.23 |
| 40 | 484.76 | 494.63 | 382.50 | 394.43 | 330.46 | 340.77 | 277.07 | 285.71 | 427.99 | 441.35 |

Al igual que en el "Letrero 1" los nodos en los extremos tienen los mismos desplazamientos, esto debido a la simetría de la cartelera, y de igual forma en el nodo central los desplazamientos son menores a los extremos, esto debido a que el tubo que se usa de soporte para la cartelera se encuentra en el centro, como los desplazamientos de los extremos son iguales, únicamente se mostrará de manera gráfica uno de los dos nodos para todas las velocidades, las figuras 4.16 y 4.17 muestran una comparativa de la respuesta de ambas versiones del manual con el procesamiento de señales.

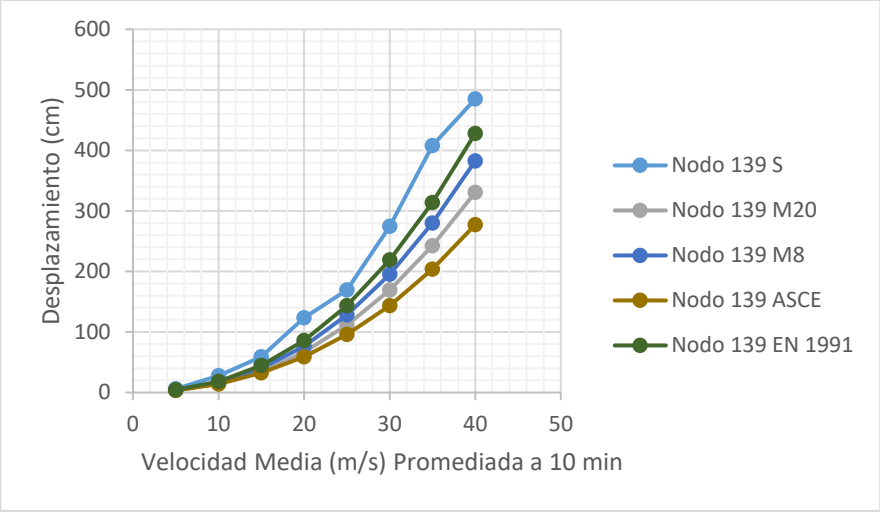



Figura 4.16 Respuesta del nodo 139 “Letrero 3”.

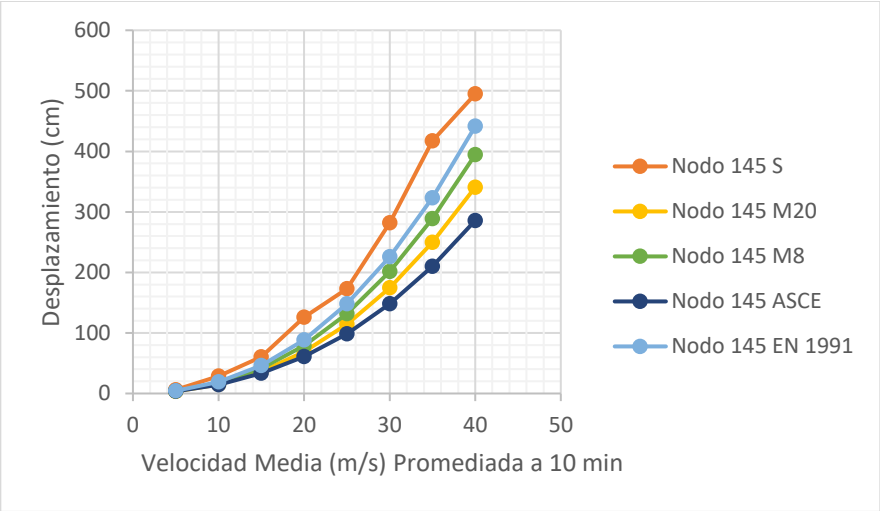



Figura 4.17 Respuesta del nodo 145 “Letrero 3”.

### 4.11.4 Respuesta del “Letrero 4”

El denominado “Letrero 4” es el anuncio que cuenta con el tubo de soporte al centro de la estructura al igual que el “Letrero 1” pero con una altura mayor, la figura 4.18 muestra los nodos en los que se obtuvieron los desplazamientos en este anuncio, por otro lado, la tabla 4.12 muestra los desplazamientos en dichos nodos.

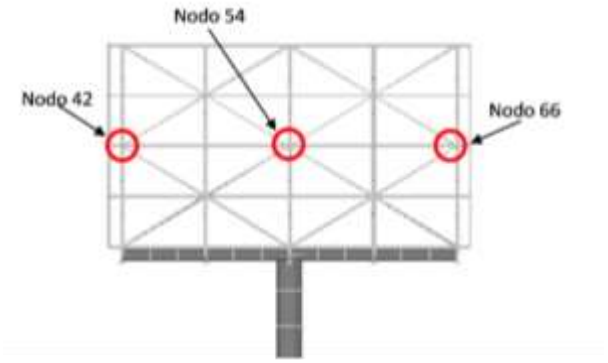



Figura 4.18 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del “Letrero 1”.

Tabla 4.12 Desplazamientos en nodos del “Letrero 4”.

| | Señales | | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | | ASCE | | EN 1991 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 |
| Velocidad media | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | |
| m/s | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm |
| 5 | 11.7 | 11.4 | 8.0 | 7.7 | 6.9 | 6.7 | 7.3 | 7.1 | 9.0 | 8.7 |
| 10 | 50.5 | 48.7 | 34.1 | 32.9 | 29.5 | 28.5 | 29.2 | 28.1 | 38.2 | 36.9 |
| 15 | 120.7 | 116.8 | 82.2 | 79.3 | 71.1 | 68.6 | 66.6 | 64.3 | 92.2 | 88.9 |
| 20 | 214.3 | 206.7 | 156.3 | 150.8 | 135.0 | 130.3 | 121.1 | 116.9 | 175.2 | 169.0 |
| 25 | 358.3 | 346.0 | 259.8 | 250.6 | 224.0 | 216.1 | 194.7 | 187.9 | 290.9 | 280.7 |
| 30 | 573.3 | 554.7 | 395.4 | 381.4 | 340.5 | 328.5 | 289.6 | 279.4 | 442.5 | 426.9 |
| 35 | 779.2 | 758.2 | 565.3 | 545.4 | 486.1 | 468.9 | 408.2 | 393.8 | 632.3 | 610.0 |
| 40 | 1032.4 | 1009.1 | 771.3 | 744.2 | 662.2 | 638.9 | 552.4 | 533.0 | 862.2 | 831.8 |

Las figuras 4.19 y 4.20 muestran una comparativa de la respuesta.

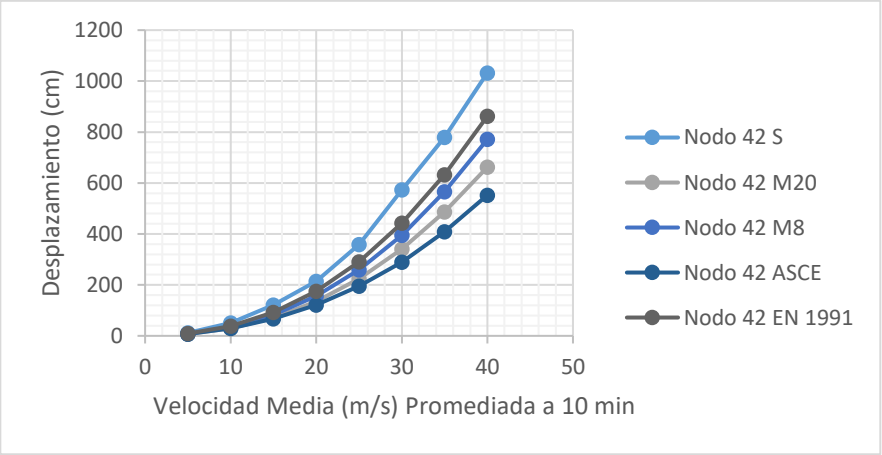



Figura 4.19 Respuesta del nodo 42 “Letrero 4”.

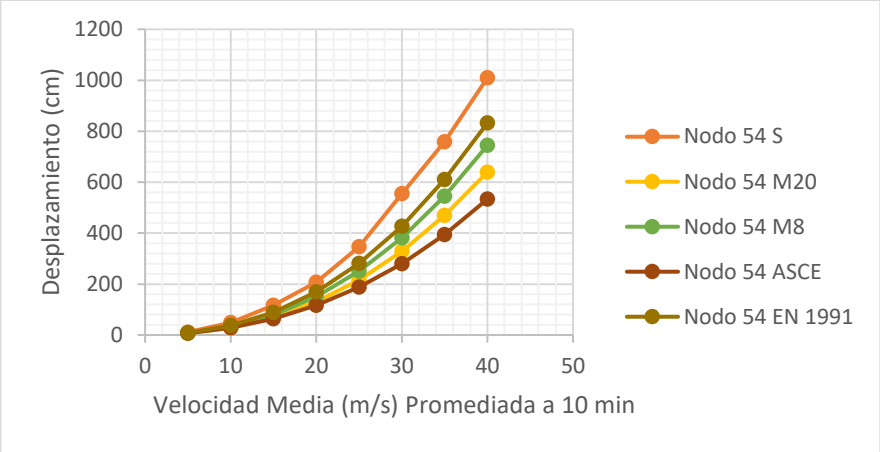



Figura 4.20 Respuesta del nodo 54 “Letrero 4”.

## 4.12 CONCLUSIONES

- La respuesta en cada una de las estructuras varia con respecto al método utilizado, teniendo desplazamientos mayores obtenidos con el procesamiento de señales respecto a los 4 manuales de estudio, siendo el código europeo el que se muestra más cercano las señales, por otro lado, el manual ASCE cuenta con una respuesta menor.
- Aunque los manuales de diseño de obras civiles son muy similares, cuentan con pequeños cambios en los valores que definen el perfil de velocidades, esto se puede observar en los cambios que se muestran en la respuesta, siendo que en la versión 2008 la respuesta es mayor que su versión 2020.

## 4.13 REFERENCIAS

Aboshosha H., Elawady A., El Ansary A., y El Dammatty A., (2016) Review on Dynamic and quaisi-static buffeting response of transmission lines under synoptic and non-synoptic wind, Enginenring Structures, 112, 23-46.

Vacareanu R., Alldea A., Lungu, D., (2007), Structural Reliability and Risk Analysis, Lecture notes, Technical University of Civil Enginnering of Bucharest.

Grunber J., Gohlmann J. (2013), Concrete Structures for Wind Turbines, BetonKalender, Wiley Ernst and Sohn, ISBN 978-3-433-03041-7.

Marshall T., (2008) Wind Versus Water Damage to buidlings: A Meteorologial Perpective. Conference: 28th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology.

He YC., Lin HB, Chan PW, Zhen QX, Deng T., (2021), “Dependence of wind load on air density for highrise buildings”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 211, 104558.

Ge Y., Cao S., Jin X, (2013), “Comparison and harmonozation of building wind loading codes among the Asia-Pacific Economies” Front. Struct. Civ. Eng, 7 (4), 402-410.

Kiliparan, B., Jyasinghe JA., Dissanayake UI, (2021), Comparative Study of the Wind Codes:An Application to Forty-Six Storied Wall-Frame Structure, Engineer, Vol. LIV, 04, pp. 37-54, DOI: http://doi.org/10.4038/engineer.v54i4.7469

Manual de diseño de obras civiles (2008), Diseño por viento, Comisión Federal de Electricidad.

Manual de diseño de obras civiles (2020), Diseño por viento, Comisión Federal de Electricidad.

EN-1991-1-4 (2005): Eurocode 1: Actions on structures-part 1-4: General Actions-wind actions.

ASCE/SEI 7-16: Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures.

## APÉNDICE A

En forma general los códigos internacionales de diseño eólico sugieren la utilización de la formulación logarítmica o exponencial, para definir la velocidad del viento con la altura. Muy pocos de esos códigos sugieren la utilización de un tiempo de promediación de 3s para la velocidad media, caso concreto sólo el ASCE 7-16 (2017), el código australiano, AS/NZ (2011), el código de India, IWC (2012), Indonesia, Malacia, Filipinas y Singapur (Ge, Cao y Jin, 2013) son los únicos que sugieren la utilización de un tiempo de promediación de 3s y por ende los perfiles de velocidades deben estar relacionado a ellos.

Tabla 4.13 Tomada de Ge Y, Cao S, Jin X., (2013)

| País/código | $\rho\left(kg/m^3\right)$ | Altura de referencia (m) | Tiempo de promediación | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Respuesta media | Respuesta dinámica |
| Australia and New Zelanda (2011) | 1.20 | 10 | 3s | 10 min |
| Canadá | 1.25 | 10 | 1h | 1h |
| China | 1.25 | 10 | 10min | |
| Hong Kong, China | 1.20 | 10 | 1h | |
| India, IWC (2012) | 1.20 | 10 | 3s | |
| Indonesia | 1.20 | 10 | 3s | |
| Japón, AIJ-RLB | 1.22 | 10 | 10 min | 10 min |
| Corea | 1.25 | 10 | 10 min | |
| Malacia | 1.20 | 10 | 3s | |
| Filipinas | 1.22 | 10 | 3s | |
| Singapur | 1.20 | 10 | 3s | |
| Taiwán, China | 1.16 | 10 | 10 min | |
| Tailandia | 1.25 | 10 | 1h | |
| Estados Unidos, ASCE (2017) | 1.25 | 10 | 3s | 1h |
| Vietnam | 1.20 | 10 | 10 min | |

Tabla 4.14 Tomada de Ge Y, Cao S, Jin X., (2013)

| País/código | $\rho\left(kg/m^3\right)$ | Altura de referencia (m) | Tiempo de promediación | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Respuesta media | Respuesta dinámica |
| Australia and New Zelanda (2011) | 1.20 | 10 | 3s | 10 min |
| Canadá | 1.25 | 10 | 1h | 1h |
| China | 1.25 | 10 | 10min | |
| Hong Kong, China | 1.20 | 10 | 1h | |
| India, IWC (2012) | 1.20 | 10 | 3s | |
| Indonesia | 1.20 | 10 | 3s | |
| Japón, AIJ-RLB | 1.22 | 10 | 10 min | 10 min |
| Corea | 1.25 | 10 | 10 min | |
| Malacia | 1.20 | 10 | 3s | |
| Filipinas | 1.22 | 10 | 3s | |
| Singapur | 1.20 | 10 | 3s | |
| Taiwán, China | 1.16 | 10 | 10 min | |
| Tailandia | 1.25 | 10 | 1h | |
| Estados Unidos, ASCE (2017) | 1.25 | 10 | 3s | 1h |
| Vietnam | 1.20 | 10 | 10 min | |
| ISO 4354 | | 10 | 10 min | 10 min |
| Eurocode | 1.25 | 10 | 10 min | 10 min |
| Italiano | | 10 | 10 min | 10 min |

# CAPÍTULO 5

# ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE UN ANUNCIO ESPECTACULAR MEDIANTE EL USO DEL MDOC (2008, 2020) MODIFICADO

## 5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realizará una revisión para los cuatro anuncios espectaculares estudiados en los capítulos anteriores, con la diferencia de que el cálculo será realizado modificando el procedimiento del Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento, en sus versiones 2008 y 2020 y los resultados se compararan con los obtenidos empleando el código europeo y el ASCE. El cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento se llevará a cabo de manera paralela con ambas versiones del MDOC (2008, 2020). Para efectos de comparación se tomarán las mismas consideraciones que en los ejemplos del capítulo anterior, como son el factor de topografía y la categoría del terreno.

## 5.2 CÁLCULO DE LA VELOCIDAD BÁSICA DE DISEÑO

La velocidad regional se debe cuantificar en m/s promediada a 10 minutos por esta razón se toma como factor de exposición para la velocidad media, el factor 0.702, para convertir la velocidad regional promediada a 3 segundos y convertirla a 10 minutos.

$$V_R = 0.702 V_{R3s} \tag{5.1}$$

La velocidad básica de diseño, en m/s, la cual es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura se obtiene con la ecuación:

$$V_D = F_T F_{rz} V_R \tag{5.2}$$

donde $F_T$ es el factor que depende de la topografía, adimensional; $F_{rz}$, es el factor de exposición para la velocidad media, adimensional, y $V_R\left(m/s\right)$ es la velocidad regional correspondiente al sitio en donde se construirá la estructura promediada en 10 minutos y obtenida con la ecuación 5.1.

La Figura 5.1 muestra la categoría del terreno según su rugosidad tanto en el MDOC 2008 como 2020.

| Cat. | Descripción | Ejemplos | Limitaciones |
|---|---|---|---|
| 1 | Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua | Franjas costeras planas, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor, superficies nevadas planas. | La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor. |
| 2 | Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones | Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas. | Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 10 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar. |
| 3 | Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas | Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas. | Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la nueva construcción, la que sea mayor. |
| 4 | Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas | Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados. | Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la nueva construcción. |

a) MDOC 2018

| Cat. | Descripción | Ejemplos | Limitaciones |
|---|---|---|---|
| 1 | Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua. | Franjas costeras planas, bahías, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas, superficies nevadas planas. | Las obstrucciones existentes, tienen alturas menores que 1.5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 20 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor. |
| 2 | Terreno plano o ondulado con pocas obstrucciones. | Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas, árboles y construcciones dispersas. | Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 5 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 20 veces la altura de la construcción por diseñar. |
| 3 | Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. | Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas. | Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 a 10 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 20 veces la altura de la construcción, la que sea mayor. |
| 4 | Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas. | Grandes centros urbanos y complejos industriales bien desarrollados. | Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 20 veces la altura de la construcción. |

La selección de la Categoría de terreno debe realizarse considerando la permanencia de las obstrucciones que constituyen la rugosidad de la superficie del terreno. Por ejemplo, debe considerarse la posibilidad de que la vegetación no permanecerá durante eventos de viento intenso en regiones donde se presentan ciclones tropicales.

b) MDOC 2020

Figura 5.1 Categoría del terreno según su rugosidad.

### 5.2.1 Cálculo del factor de exposición para la velocidad media

El factor de exposición para la velocidad media, toma en cuenta la rugosidad del sitio, así como la velocidad y su variación con respecto a la altura, El perfil de velocidades medias se debe ajusta a velocidades promediadas a 10 minutos y no a 3 segundos como lo hacen los MDOC (2018 y 2020), sin embargo, como los MDOC (2018 y 2020) calculan el efecto dinámico a 10 minutos, es posible considerar esos mismos perfiles.

$$F_{rz} = \bar{b} \quad \text{si} \quad z \leq 10m \tag{5.3a}$$

$$F_{rz} = \bar{b}\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha^*} \quad \text{si} \quad 10m \langle z \leq 200m \tag{5.3b}$$

donde z (m) es la altura por encima del terreno natural a la cual se desea conocer la velocidad media del viento, α' es el exponente de la variación de la velocidad del viento con la altura, depende de la categoría del terreno y corresponde a un intervalo promediado a diez minutos, adimensional, y $\bar{b}$ es un coeficiente, adimensional.

Las variables $\bar{b}$ y α' son mostradas por la figura 5.2.

**Tabla 4.4.1 VALORES DE $\bar{b}$ Y α'**

| Categoría del terreno | $\bar{b}$ | α' |
|---|---|---|
| 1 | 1.17 | 0.12 |
| 2 | 1.00 | 0.16 |
| 3 | 0.77 | 0.21 |
| 4 | 0.55 | 0.29 |

a) MDOC 2008

Tabla 4.1 Valores de $\bar{b}$ y $\alpha'$.

| Categoría del terreno | $\bar{b}$ | $\alpha'$ |
|---|---|---|
| 1 | 1.17 | 0.10 |
| 2 | 1.00 | 0.14 |
| 3 | 0.82 | 0.19 |
| 4 | 0.61 | 0.26 |

b) MDOC 2020

Figura 5.2 Valores de $\bar{b}$ y α'.

A continuación, se muestra el cálculo de dicho factor, a una altura de 27.60 m, altura medida del nivel de piso hasta el centro de la cartelera del anuncio con una categoría del terreno de 3.

MDOC 2008

$$F_{rz}^{'} = 0.702 * 0.77 * \left(\frac{27.60}{10}\right)^{0.21} = 0.6690$$

MDOC 2020

$$F_{rz}^{'} = 0.702 * 0.82 * \left(\frac{27.60}{10}\right)^{0.19} = 0.6981$$

### 5.2.2 Factor de Topografía

El factor de topografía, como su nombre lo indica, es el que toma en cuenta la topografía del lugar donde se localiza la estructura, la figura 5.3 muestra dichas tablas.

Tabla 4.2.4 FACTOR DE TOPOGRAFÍA LOCAL, $F_T$

| Sitios | Ejemplos de topografía local | $F_T$ |
|---|---|---|
| Protegidos | Valles cerrados | 0.9 |
| Normales | Terreno prácticamente plano: Campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5%. | 1.0 |
| Expuestos | Promontorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas. | Véanse las ecuaciones (4.2.6) a (4.2.8) |
| | Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas. | |

a) MDOC 2008

Tabla 2.3 Factor de topografía local, $F_T$.

| Sitios | Ejemplos de topografía local | $F_T$ |
|---|---|---|
| Protegidos | Valles cerrados | 0.9 |
| Normales | Terreno prácticamente plano: Ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5%. | 1.0 |
| Expuestos | Promontorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas. | Ver las ecuaciones 2.6 a 2.8 |
| | Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas. | |

b) MDOC 2020

Figura 5.3 Factor de Topografía.

### 5.2.3 Velocidad básica de diseño

En este ejemplo, al igual que en el capítulo anterior se usará una velocidad media de 10 m/s. A continuación, se muestra el cálculo de la velocidad básica de diseño, en m/s, tomando como valor de 1 al factor de topografía.

MDOC 2008

$$V_D = 1 * (0.6690) * (14.245) = 9.53$$

MDOC 2020

$$V_D = 1 * (0.6981) * (14.245) = 9.9446$$

## 5.3 CÁLCULO DE LA PRESIÓN DINÁMICA DE BASE

La presión dinámica de base ($q_z$), es la presión ocasionada por la acción del viento en una superficie, la cual es perpendicular a la misma, está presión varia con respecto a la velocidad del viento y la dirección de la misma. La presión dinámica de base se determina de la siguiente manera:

$$q_z = \frac{1}{2}\rho V_D^2 \tag{5.4}$$

donde $V_D$ (m/s) es la velocidad básica de diseño, $q_z$ (Pa) es la presión dinámica de base a una altura z (m) sobre el nivel del terreno, y ρ es la densidad del aire, igual a 1.225 kg/m$^3$.

Con el valor de la velocidad básica de diseño calculado con anterioridad tenemos que la presión dinámica de base (Pa), es igual:

MDOC 2008

$$q_z = \frac{1}{2} * (1.225) * (9.53)^2 = 55.6249$$

MDOC 2020

$$q_z = \frac{1}{2} * (1.225) * (9.9446)^2 = 60.573$$

## 5.4 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD MEDIA

La velocidad media ($V'_D$) es utilizada para determinar el factor de amplificación dinámica para el manual 2008 y el factor de respuesta de ráfaga para la versión 2020, para una velocidad promediada a 10 minutos.

La velocidad media, en m/s, se obtendrá con la ecuación:

$$V_D^{'} = F_T F_{rz}^{'} V_R \tag{5.5}$$

donde $F_T$ es el factor que depende de la topografía, adimensional, y que será tomado igual a 1 en el ejemplo para ambas versiones del manual, $F'_{rz}$ el factor de exposición para la velocidad media, adimensional, y $V_R$ (m/s) la velocidad regional de ráfaga, se usa la misma que en el cálculo de la velocidad básica de diseño.

A continuación, se muestra el cálculo de la velocidad media, en m/s, tomando como valor de 1 al factor de topografía y la velocidad regional es igual a la utilizada para el cálculo de la velocidad básica de diseño, así como el factor de exposición para la velocidad media.

MDOC 2008

$$V_D^{'} = 1 * (0.6690) * (14.245) = 9.53$$

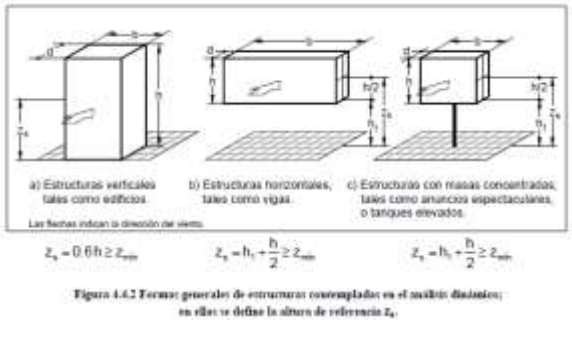
MDOC 2020

$$V_D^{'} = 1 * (0.6981) * (14.245) = 9.9446$$

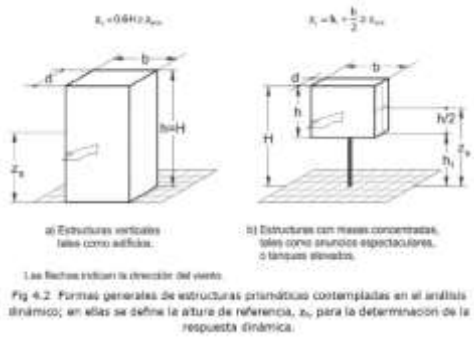
## 5.5 CÁLCULO DEL FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DINÁMICA Y DEL FACTOR DE RESPUESTA DE RÁFAGA PARA ESTRUCTURAS PRISMÁTICAS (MODIFICADO)

Para poder emplear este procedimiento, es necesario que se cumplan las condiciones mostradas a continuación:

1. La respuesta máxima en la dirección del viento está dada por la contribución del modo fundamental de vibrar, por lo que se desprecia la contribución de los modos superiores.
2. La estructura corresponde a una de las formas mostradas a continuación (ver figura 5.4).




a) MDOC 2008




b) MDOC 2020

Figura 5.4 Formas generales de las estructuras.

Por lo tanto, el factor de amplificación dinámica, $F_{AD}$, y el factor de respuesta de ráfaga, $F_{RR}$, se calcularán como se muestra a continuación:

$$F_{AD} = 1 + 2k_p I_v\left(z_s\right)\sqrt{B^2 + R^2} \tag{5.7a}$$

$$F_{RR} = 1 + 2k_p I_v\left(z_s\right)\sqrt{B^2 + R^2} \tag{5.7b}$$

donde $k_p$ es el factor pico, adimensional, $I_v(z_s)$ es el índice de turbulencia, evaluado a la altura de referencia, $z_s$, adimensional, $B^2$ es el factor de respuesta de fondo, adimensional, $R^2$ es el factor de respuesta en resonancia, adimensional, y $z_s$ (m) es la altura de referencia, (ver figura 5.4).

### 5.5.1 Índice de turbulencia

El índice de turbulencia, es la representación de la intensidad del flujo del viento, y se calcula como se muestra a continuación:

$$I_v\left(z_s\right) = \overline{d}\left(\frac{z_s}{10}\right)^{-\alpha'} \qquad z_{mín} \le z_s \le z_{máx} \tag{5.8a}$$

$$I_v\left(z_s\right) = \frac{1}{\ln\left(\dfrac{z_{mín}}{z_0}\right)} \qquad z_s \le z_{mín} \tag{5.8b}$$

Las variables $z_{mín}$, $z_0$ y $\overline{d}$ se toman de las tablas mostradas en la figura 5.5, por otro lado, $z_{máx}$, es igual a 200 m, mientras que α' se obtiene de la figura 5.2 de este capítulo.

Tabla 4.4.2 VALORES DE LAS CONSTANTES $\overline{d}$, $z_0$, $z_{min}$ y $\overline{\alpha}$

| Categoría del terreno | $\overline{d}$ | $z_0$(m) | $z_{min}$(m) | $\overline{\alpha}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.15 | 0.01 | 1 | 0.44 |
| 2 | 0.19 | 0.05 | 2 | 0.52 |
| 3 | 0.29 | 0.30 | 5 | 0.61 |
| 4 | 0.43 | 1.0 | 10 | 0.67 |

a) MDOC 2008

Tabla 4.2 Valores de los parámetros $\overline{d}$, $\overline{\alpha}$, $z_0$, $z_{min}$ y $z_{máx}$.

| Categoría del terreno | $\overline{d}$ | $\overline{\alpha}$ | $z_0$ (m) | $z_{min}$ (m) | $z_{máx}$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.12 | 0.44 | 0.001 | 1 | 200 |
| 2 | 0.17 | 0.52 | 0.020 | 2 | 200 |
| 3 | 0.25 | 0.61 | 0.200 | 5 | 200 |
| 4 | 0.39 | 0.67 | 1.000 | 10 | 200 |

b) MDOC 2020

Figura 5.5 Parámetros constantes MDOC.

Tomando una altura de referencia, $z_s$ igual a 27.6 m, como se mencionó anteriormente y una categoría del terreno de 3, se calcula el índice de turbulencia.

MDOC 2008

$$I_v\left(z_s\right) = 0.29\left(\frac{27.60}{10}\right)^{-0.21} = 0.2343$$

MDOC 2020

$$I_v\left(z_s\right) = 0.25\left(\frac{27.60}{10}\right)^{-0.19} = 0.2061$$

### 5.5.2 Factor de respuesta de fondo y factor de respuesta en resonancia

Los factores de respuesta de fondo y de respuesta en resonancia toman en cuenta la falta de correlación de la presión en las superficies de la estructura y el efecto de la turbulencia del local del viento en resonancia con el modo de vibración de la estructura.

El factor de respuesta de fondo, $B^2$, se calcula como:

$$B^2 = \frac{1}{1+0.9\left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0.63}} \tag{5.9}$$

donde b (m) es el ancho de la estructura, h (m) es la altura de la estructura, y $L(z_s)$ (m) es la longitud de la escala de turbulencia a la altura de referencia, $z_s$.

La longitud de escala de turbulencia representa el tamaño usual, en promedio, de las ráfagas de viento. Para alturas de referencia, $z_s$ (m), menores que 200 m, y se calcula de la siguiente manera:

$$L(z_s) = 300\left(\frac{z_s}{200}\right)^{\bar{\alpha}} \qquad z_s \geq z_{mín} \tag{5.10a}$$

$$L(z_s) = 300\left(\frac{z_{mín}}{200}\right)^{\bar{\alpha}} \qquad z_s < z_{mín} \tag{5.10b}$$

Para el cálculo de la longitud de escala de turbulencia, los valores de $z_s$, $z_{mín}$ y $\bar{\alpha}$ se obtienen de las tablas de la figura 5.5. Por lo tanto, la longitud de escala de turbulencia es igual a:

MDOC 2008

$$L(z_s) = 300\left(\frac{27.60}{200}\right)^{0.61} = 89.6288$$

MDOC 2020

$$L(z_s) = 300\left(\frac{27.60}{200}\right)^{0.61} = 89.6288$$

Por lo tanto, para el factor de respuesta de fondo, tenemos una b igual a 12.9 m y h igual a 7.2 m, medidas tipo de los anuncios espectaculares, el cual es igual a:

MDOC 2008

$$B^2 = \frac{1}{1+0.9\left(\frac{12.9+7.2}{89.6288}\right)^{0.63}} = 0.7402$$

MDOC 2020

$$B^2 = \frac{1}{1+0.9\left(\frac{12.9+7.2}{89.6288}\right)^{0.63}} = 0.7402$$

El factor de respuesta en resonancia, $R^2$, se determina como se muestra a continuación:

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_{t,x}} S_L(z_s, n_{1,x}) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \tag{5.11}$$

donde $S_L(z_s,n_{1,x})$ es la densidad de potencia del viento, adimensional, $n_{1,x}$ (Hz) es la frecuencia natural de vibración de la estructura en la dirección del viento, $R_h(\eta_h)$ y $R_b(\eta_b)$ son las funciones de

admitancia aerodinámica, adimensionales, y $\zeta_{t,x}$ es la relación de amortiguamiento total, adimensional.

La densidad de potencia describe la distribución de la turbulencia del viento en un sitio con respecto a intervalos de frecuencias, y se determina usando la siguiente expresión:

$$S_L\left(z_s, n_{1,x}\right) = \frac{6.8\left(\dfrac{n_{1,x}L\left(z_s\right)}{V_D^{'}\left(z_s\right)}\right)}{\left[1+10.2\left(\dfrac{n_{1,x}L\left(z_s\right)}{V_D^{'}\left(z_s\right)}\right)\right]^{5/3}} \tag{5.12}$$

Utilizando la velocidad media evaluada a la altura de referencia $z_s$ (m), y la longitud de la escala de turbulencia calculadas con anterioridad y para una frecuencia natural de vibración de 0.95134 Hz, tenemos que:

MDOC 2008

$$S_L\left(z_s, n_{1,x}\right) = \frac{6.8\left(\dfrac{0.95134*89.6288}{9.53}\right)}{\left[1+10.2\left(\dfrac{0.95134*89.6288}{9.53}\right)\right]^{5/3}} = 0.0323$$

MDOC 2020

$$S_L\left(z_s, n_{1,x}\right) = \frac{6.8\left(\dfrac{0.95134*89.6288}{9.9446}\right)}{\left[1+10.2\left(\dfrac{0.95134*89.6288}{9.9446}\right)\right]^{5/3}} = 0.0332$$

Las funciones de admitancia aerodinámica $R_h$ y $R_b$ consideran que las fluctuaciones de la velocidad no ocurren simultáneamente sobres las superficies de barlovento y sotavento, así como su correlación sobre estas áreas.

La función $R_h$, para la forma modal fundamental, se determina de la siguiente manera:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2}\left(1-e^{-2\eta_h}\right) \qquad R_h=1 \text{ para } \eta_h=0 \tag{5.13}$$

En donde:

$$\eta_h = \frac{4.6hn_{1,x}}{V_D^{'}\left(z_s\right)}$$

Mientras que, $R_b$, para la forma modal fundamental, se determina como:

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2}\left(1-e^{-2\eta_b}\right) \qquad R_b=1 \text{ para } \eta_b=0 \tag{5.14}$$

En donde:

$$\eta_b = \frac{4.6bn_{1,x}}{V_D^{'}\left(z_s\right)}$$

Por lo tanto, tenemos que:

MDOC 2008

$$\eta_h = \frac{4.6*7.2*0.95134}{9.53} = 3.3063$$

MDOC 2020

$$\eta_h = \frac{4.6*7.2*0.95134}{9.9446} = 3.1684$$

MDOC 2008

$$\eta_b = \frac{4.6*12.9*0.95134}{9.53} = 5.9238$$

MDOC 2020

$$\eta_b = \frac{4.6*12.9*0.95134}{9.9446} = 5.6767$$

De este modo, las funciones de admitancia aerodinámica son iguales a:

MDOC 2008

$$R_h = \frac{1}{3.3063} - \frac{1}{2\left(3.3063\right)^2}\left(1-e^{-2*3.3063}\right) = 0.2568$$

MDOC 2020

$$R_h = \frac{1}{3.1684} - \frac{1}{2\left(3.1684\right)^2}\left(1-e^{-2*3.1684}\right) = 0.2659$$

MDOC 2008

$$R_b = \frac{1}{5.9238} - \frac{1}{2\left(5.9238\right)^2}\left(1-e^{-2*5.9238}\right) = 0.1546$$

MDOC 2020

$$R_b = \frac{1}{5.6767} - \frac{1}{2\left(5.6767\right)^2}\left(1-e^{-2*5.6767}\right) = 0.1606$$

La relación de amortiguamiento total, $\zeta_{t,x}$, está dada por tres componente debidas al amortiguamiento estructural, al aerodinámico y al asociado con dispositivos especiales de amortiguamiento.

$$\zeta_{t,x} = \zeta_{est,x} + \zeta_{a,x} + \zeta_{d,x} \tag{5.15}$$

donde $\zeta_{est,x}$ es la relación de amortiguamiento estructural, adimensional, $\zeta_{a,x}$ es la relación de amortiguamiento aerodinámico, adimensional, y $\zeta_{d,x}$ es la relación de amortiguamiento debido a mecanismos especiales de amortiguamiento, adimensional.

A continuación, se muestran algunos valores que facilitan ambas versiones del manual, tanto 2008 como 2020, para la relación de amortiguamiento estructural.

**Tabla 4.4.3 VALORES REPRESENTATIVOS DE RELACIÓN DE AMORTIGUAMIENTO ESTRUCTURAL**

| Tipo de estructura | $\zeta_{MDOC}$ |
|---|---|
| Edificios de concreto reforzado y presforzado | 0.015 |
| Edificios de acero | 0.010 |
| Estructuras mixtas de concreto y acero | 0.013 |
| Chimeneas y torres de concreto reforzado | 0.01 |
| Chimeneas de acero soldadas y sin recubrimientos | 0.002 |
| Chimeneas de acero soldadas con recubrimiento | 0.005 |
| Chimeneas de acero con recubrimiento de refractarios | 0.01 |
| Torres de celosía soldadas | 0.003 |
| Torres de celosía atornilladas | 0.005 |

Figura 5.6 Valores representativos de la relación de amortiguamiento estructural (MDOC 2008).

Tabla 4.3 Valores representativos de relación de amortiguamiento estructural.

| Tipo de estructura | $\zeta_{MDOC}$ |
|---|---|
| Edificios de concreto reforzado y presforzado | 0.016 |
| Edificios de acero | 0.008 |
| Estructuras mixtas de concreto y acero | 0.013 |
| Chimeneas y torres de concreto reforzado | 0.010 |
| Chimeneas de acero soldadas, sin recubrimientos: | |
| sin aislamiento térmico exterior | 0.002 |
| con aislamiento térmico exterior | 0.003 |
| Chimeneas de acero soldadas, con recubrimientos: | |
| con una capa de recubrimiento y aislamiento térmico exterior | 0.002 - 0.006 |
| con dos o más capas de recubrimiento y aislamiento térmico exterior | 0.003 - 0.006 |
| Chimeneas de acero con recubrimiento interior de tabiques | 0.011 |
| Chimeneas de acero con recubrimiento interior de concreto lanzado | 0.005 |
| Torres de celosía soldadas | 0.003 |
| Torres de celosía atornilladas: | |
| tornillos de alta resistencia | 0.005 |
| tornillos de baja resistencia | 0.008 |
| Estructuras de soporte de aerogeneradores: | |
| cilíndricas o prismáticas de concreto | 0.006 |
| cilíndricas o prismáticas de acero | 0.002 |

Figura 5.7 Valores representativos de relación de amortiguamiento estructural (MDOC 2020).

Por lo tanto, para el factor de respuesta en resonancia, tenemos un amortiguamiento estructural de 0.02, entonces:

MDOC 2008

$$R^2 = \frac{\pi}{4*0.02}*0.0323*0.2568*0.1546 = 0.0503$$

MDOC 2020

$$R^2 = \frac{\pi}{4*0.02}*0.0332*0.2659*0.1606 = 0.0557$$

### 5.5.3 Factor pico

El factor pico, $k_p$, se define como la relación del valor máximo de las fluctuaciones de la respuesta entre su desviación estándar; depende de un intervalo de tiempo T, de 600 segundos, con el que se calcula la respuesta máxima, y del intervalo de frecuencias de esta respuesta.

Cuando la respuesta en la dirección del viento se asocia con una distribución de probabilidades de tipo Gaussiana, el factor pico, adimensional se expresa como:

$$k_p = \sqrt{2\ln(600v)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(600v)}} \geq 3 \tag{5.16}$$

donde v (Hz) es la frecuencia de cruces por cero o tasa media de oscilaciones.

La frecuencia de cruces por cero, v, se obtiene con la ecuación siguiente:

$$v = n_{1,x}\sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0.08 \tag{5.17}$$

Por lo tanto, la frecuencia de cruces por cero es igual a:

MDOC 2008

$$v = 0.95134\sqrt{\frac{0.0503}{0.7402*0.0503}} = 0.24$$

MDOC 2020

$$v = 0.95134\sqrt{\frac{0.0557}{0.7402*0.0557}} = 0.252$$

Mientras que el factor pico es igual a:

MDOC 2008

$$k_p = \sqrt{2\ln(600*0.24)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(600*0.24)}} = 3.3431$$

MDOC 2020

$$k_p = \sqrt{2\ln(600*0.252)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(600*0.252)}} = 3.3571$$

### 5.5.4 Factor de amplificación dinámica y factor de respuesta de ráfaga

Con el cálculo del factor pico, los factores de respuesta de fondo y de respuesta en resonancia, así como el índice de turbulencia, tenemos los datos necesarios para obtener el factor de amplificación dinámica y el factor de respuesta de ráfaga, por lo tanto, tenemos que dichos factores son igual a:

MDOC 2008

$$F_{AD} = 1 + 2*3.3431*0.2343\sqrt{0.7402 + 0.0503} = 2.393$$

MDOC 2020

$$F_{RR} = 1 + 2*3.3571*0.2061\sqrt{0.7402 + 0.0557} = 2.2348$$

## 5.6 CÁLCULO DE LA FUERZA ESTÁTICA EQUIVALENTE, Feq, EN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO PARA ESTRUCTURAS PRISMÁTICAS Y CILÍNDRICAS (MODIFICADO)

La fuerza dinámica equivalente, $F_{eq}$ (N), se obtiene, para una altura sobre el nivel del terreno, z (m), para las versiones 2008 y 2020 del MDOC, Diseño por viento, se calculan como se muestra a continuación:

$$F_{eq}(z) = p_n A_{\exp} F_{AD} \tag{5.18a}$$

$$F_{eq}(z) = p_n A_{\exp} F_{RR} \tag{5.18b}$$

donde $p_n$ (Pa) es la presión neta, la cual depende del tipo de estructura.

La presión actuante se calcula con la siguiente expresión la cual se utiliza para letreros rectangulares.

$$p_n = c_{pn} K_p q_z \tag{5.19}$$

donde $C_{pn}$ es el coeficiente de presión neta actuando normal a la superficie del muro o letrero, adimensional, $K_p$ es el factor de reducción de presión por porosidad, adimensional; este factor está dado por: $(1-(1-\phi)^2)$, en donde $\phi$ es la relación de solidez del letrero o muro y $q_z$ (Pa) es la presión dinámica de base, calculada con anterioridad.

**Tabla 4.3.16(a) COEFICIENTE DE PRESIÓN NETA, $C_{pn}$, PARA LETREROS Y MUROS AISLADOS, θ = 0°**

| b/h | h/H | $C_{pn}$ | e |
|---|---|---|---|
| 0.5 a 5.0 | 0.2 a 1.0 | 1.3 + 0.5 [0.3 + $\log_{10}$(b/h)] (0.8 - h/H) | 0.0 |
| > 5.0 | | La expresión anterior para b/h = 5.0 | 0.0 |
| Cualquiera | < 0.2 | 1.3 + 0.3 [0.3 + $\log_{10}$(b/h)] | 0.0 |

Figura 5.8 Coeficiente de presión neta, $C_{pn}$, para letreros y muros aislados, θ=0° (MDOC 2008).

Tabla 3.18(a) Coeficiente de presión neta, $C_{pn}$, para letreros y muros aislados. Dirección del viento θ = 0°.

| b/h | h/H | Coeficiente de presión neta ($C_{pn}$) | e |
|---|---|---|---|
| 0.5 a 5.0 | 0.2 a 1.0 | 1.30 + 0.50 [0.30 + $\log_{10}$(b/h)] (0.80 - h/H) | 0.00 |
| > 5.0 | | 1.70 - 0.50 h/H | 0.00 |
| Cualquiera | < 0.2 | 1.40 + 0.30·$\log_{10}$(b/h) | 0.00 |

Figura 5.9 Coeficiente de presión neta, $C_{pn}$, para letreros y muros aislados, θ=0° (MDOC 2020).

Entonces, para obtener el coeficiente de presión neta tenemos el siguiente proceso:

$$\frac{b}{h} = \frac{12.9}{7.2} = 1.7917$$

$$\frac{h}{H} = \frac{7.2}{31.2} = 0.2308$$

MDOC 2008

$$c_{pn} = 1.3 + 0.5\left[0.3 + \log_{10}(1.7917)\right](0.8 - 0.2308) = 1.4575$$

MDOC 2020

$$c_{pn} = 1.3 + 0.5\left[0.3 + \log_{10}(1.7917)\right](0.8 - 0.2308) = 1.4575$$

Por lo tanto, y para tener una comparativa adecuada, se usa un coeficiente de presión de 2.2 al igual que en el procesamiento de señales y los demás manuales de estudio, la presión neta, en Pa, es igual a:

MDOC 2008

$$p_n = 2.2*1*55.6249 = 122.375$$

MDOC 2020

$$p_n = 2.2*1*60.573 = 133.26$$

### 5.6.1 Fuerza estática equivalente

Con el coeficiente de presión neta calculado y con un área de exposición igual a 92.88 m$^2$, la cual corresponde a las dimensiones tipo mencionadas anteriormente los cuales son 12.9 m de base y 7.2 m de altura. Además, de los valores calculados en pasados incisos tenemos que la fuerza estática equivalente, en N, es:

MDOC 2008

$$F_{eq}(z) = 122.375*92.88*2.393 = 27199.3$$

MDOC 2020

$$F_{eq}(z) = 133.26*92.88*2.235 = 27663.02$$

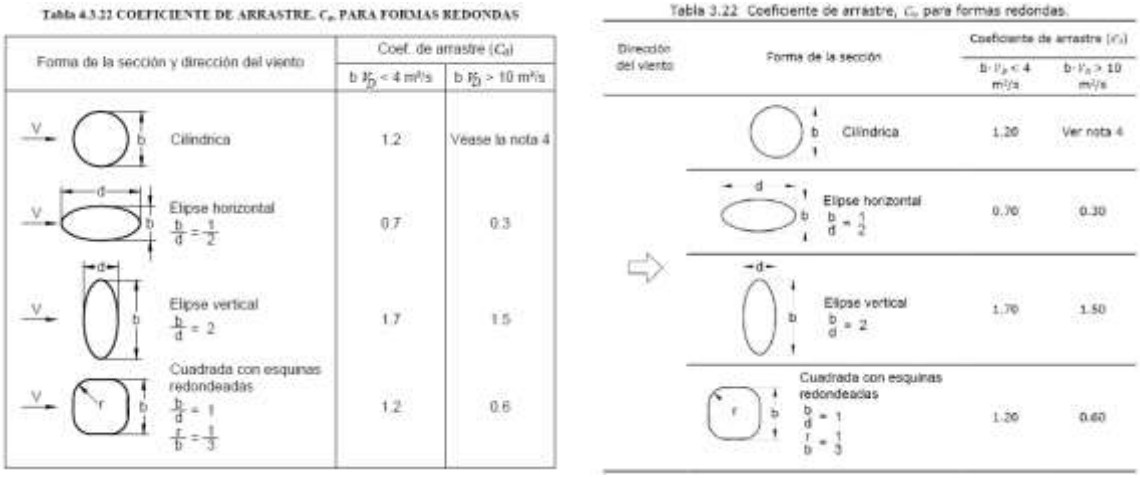
## 5.7 CÁLCULO DE LA FUERZAS EN EL TUBO

El proceso para el cálculo de las fuerzas sobre el tubo del anuncio espectacular es el mismo que para el letrero, con la diferencia de la presión neta, la cual se determina como se muestra a continuación:

$$p_n = C_a q_z \tag{5.24}$$

donde $C_a$ es el coeficiente de arrastre, adimensional, $q_z$ (Pa) es la presión dinámica de base, calculada con anterioridad.

El coeficiente de arrastre se obtiene de las tablas se muestra en la figura 5.10, a continuación, se muestra el proceso para obtener dicho coeficiente.




a) MDOC 2008 b) MDOC 2020

Figura 5.10 Coeficiente de arrastre.

Para el coeficiente de arrastre se utiliza el diámetro del tubo como medida del ancho de la columna, el cual es de 0.9144 m, y la velocidad calculada en incisos anteriores.

$$\text{si } bV_D>10\ \frac{m^2}{s} \qquad C_a=1.6+0.105\ \ln\left(\frac{h_r}{b}\right) \text{ MDOC 2008}$$

$$\text{si } bV_D>10\ \frac{m^2}{s} \qquad C_a=1+0.033\ \log_{10}(V_D h_r)-0.025\left[\log_{10}(V_D h_r)\right]^2 \text{ MDOC 2020}$$

$$bV_D=0.9144*8.79=8.036 \text{ MDOC 2020}$$

Teniendo una altura promedio de la rugosidad de la superficie, hr, igual a 0.15 para acero, el coeficiente de arrastre es igual a:

MDOC 2008

$$C_a=1.6+0.105\ln\left(\frac{0.15}{914.4}\right)=0.6849$$

MDOC 2020

$$C_a=1+0.033\log_{10}\left(8.79*0.00015\right)-0.025\left[\log_{10}\left(8.79*0.00015\right)\right]^2=0.6976$$

Por lo tanto, mediante el uso de interpolación lineal entre 1.2 y 0.6849, así como, 1.2 y 0.698, tenemos que $C_a$ es igual a 0.891 y 0.8621 para ambas versiones del manual, pero, para efectos comparativos se utilizará 0.7239, coeficiente de arrastre del MDOC 2020 sin modificar. A continuación, en las tablas 5.1 y 5.2 se muestra un resumen de los resultados de las fuerzas del viento que actúan en el tubo a cada metro:

Tabla 5.1 Fuerzas en el tubo, MDOC 2008 (Modificado).

| z (m) | $V_D$ (m/s) | $q_z$ (Pa) | Pz | $A_{exp}$ ($m^2$) | $F_{eq}$ (N) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.185 | 7.70 | 36.3151 | 26.2885 | 2.167128 | 136.3313 |
| 3.555 | 7.70 | 36.3151 | 26.2885 | 2.167128 | 136.3313 |
| 5.925 | 7.70 | 36.3151 | 26.2885 | 2.167128 | 136.3313 |
| 8.295 | 7.70 | 36.3151 | 26.2885 | 2.167128 | 136.3313 |
| 10.665 | 7.80 | 37.3105 | 27.0091 | 2.167128 | 140.0681 |
| 13.035 | 8.14 | 40.5914 | 29.3841 | 2.167128 | 152.3850 |
| 15.405 | 8.43 | 43.5417 | 31.5198 | 2.167128 | 163.4607 |
| 17.775 | 8.69 | 46.2389 | 33.4723 | 2.167128 | 173.5863 |
| 20.145 | 8.92 | 48.7346 | 35.2790 | 2.167128 | 182.9556 |
| 22.515 | 9.13 | 51.0653 | 36.9662 | 2.167128 | 191.7051 |

Tabla 5.2 Fuerzas en el tubo, MDOC 2020 (Modificado).

| z (m) | $V_D$ (m/s) | $q_z$ (Pa) | Pz | $A_{exp}$ ($m^2$) | $F_{eq}$ (N) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.185 | 8.20 | 41.1845 | 29.8135 | 2.167128 | 144.3902 |
| 3.555 | 8.20 | 41.1845 | 29.8135 | 2.167128 | 144.3902 |
| 5.925 | 8.20 | 41.1845 | 29.8135 | 2.167128 | 144.3902 |
| 8.295 | 8.20 | 41.1845 | 29.8135 | 2.167128 | 144.3902 |
| 10.665 | 8.30 | 42.2045 | 30.5518 | 2.167128 | 147.9663 |

Continua Tabla 5.2 Fuerzas en el tubo, MDOC 2020 (Modificado).

| z (m) | $V_D$ (m/s) | $q_z$ (Pa) | Pz | $A_{exp}$ ($m^2$) | $F_{eq}$ (N) |
|---|---|---|---|---|---|
| 10.665 | 8.30 | 42.2045 | 30.5518 | 2.167128 | 147.9663 |
| 13.035 | 8.62 | 45.5487 | 32.9727 | 2.167128 | 159.6908 |
| 15.405 | 8.90 | 48.5339 | 35.1337 | 2.167128 | 170.1568 |
| 17.775 | 9.15 | 51.2462 | 37.0971 | 2.167128 | 179.6658 |
| 20.145 | 9.37 | 53.7424 | 38.9042 | 2.167128 | 188.4176 |
| 22.515 | 9.57 | 56.0626 | 40.5837 | 2.167128 | 196.5519 |

## 5.8 RESPUESTA DE ANUNCIOS ESPECTACULARES SOMETIDOS A CARGAS DE VIENTO, CON EL MÉTODO DEL MDOC, DISEÑO POR VIENTO 2008 Y 2020 (MODIFICADO)

Por medio del proceso anterior para obtener las fuerzas, tanto en la cartelera como en el tubo fueron realizados para los 4 tipos de anuncios de estudio. A continuación, se muestra el resumen de dichos anuncios.

### 5.8.1 Respuesta del "Letrero 1"

El denominado "Letrero 1" es el anuncio que cuenta con el tubo de soporte al centro de la estructura, la figura 5.11 muestra los nodos en los que se obtuvieron los desplazamientos en este anuncio, por otro lado, las tablas 5.3 y 5.4 muestran los desplazamientos en dichos nodos para ambas versiones del manual.

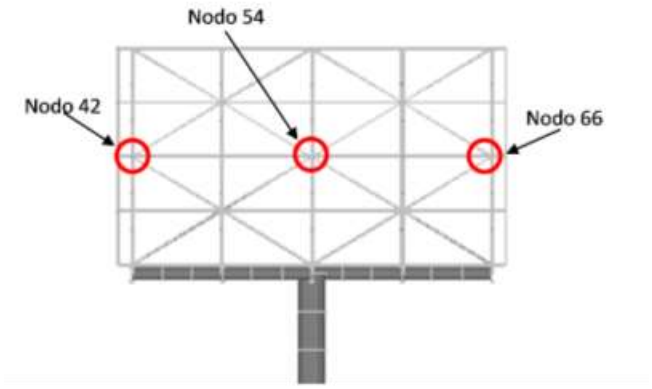



Figura 5.11 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del "Letrero 1".

Tabla 5.3 Desplazamientos en nodos del “Letrero 1”, MDOC 2008 (Modificado).

| MDOC 2008 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 4.6715 | 4.385 | 4.6715 |
| 10 | 19.7076 | 18.4897 | 19.7076 |
| 15 | 46.6107 | 43.7322 | 46.6107 |
| 20 | 87.0487 | 81.6752 | 87.0487 |
| 25 | 142.8138 | 134.0009 | 142.8138 |
| 30 | 215.5612 | 202.2627 | 215.5612 |
| 35 | 306.7266 | 287.808 | 306.7266 |
| 40 | 417.5306 | 391.7825 | 417.5306 |

Tabla 5.4 Desplazamientos en nodos del “Letrero 1”, MDOC 2020 (Modificado).

| MDOC 2020 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 4.7647 | 4.4725 | 4.7647 |
| 10 | 20.0481 | 18.8095 | 20.0481 |
| 15 | 47.3814 | 44.4561 | 47.3814 |
| 20 | 88.452 | 82.9936 | 88.452 |
| 25 | 145.0401 | 136.0927 | 145.0401 |
| 30 | 218.7598 | 205.2685 | 218.7598 |
| 35 | 310.994 | 291.8186 | 310.994 |
| 40 | 422.9079 | 396.8371 | 422.9079 |

Como podemos observar los nodos 42 y 66 tienen los mismos desplazamientos, esto debido a la simetría de la cartelera, por otro lado, el nodo 54 tiene desplazamientos menores a los extremos, únicamente se mostrará de manera gráfica uno de los dos nodos en los extremos para todas las velocidades, las figuras 5.12 y 5.13 muestran una comparativa de la respuesta de ambas versiones del manual, el manual ASCE, el código europeo y el procesamiento de señales.

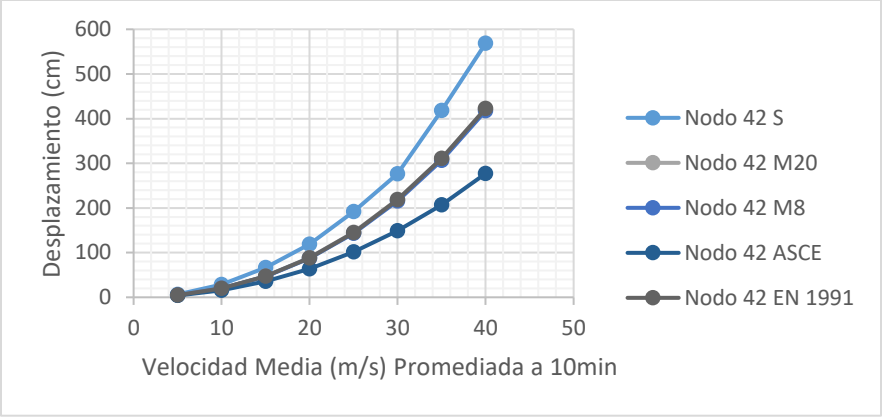



Figura 5.12 Respuesta del nodo 42 “Letrero 1”.

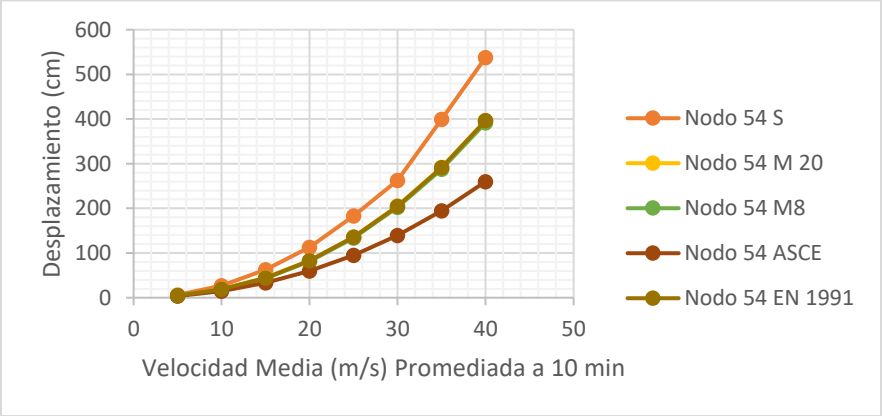



Figura 5.13 Respuesta del nodo 54 “Letrero 1”.

### 5.8.2 Respuesta del “Letrero 2”

El “Letrero 2” es el anuncio que cuenta con el tubo de soporte posicionado entre el centro y un extremo de la cartelera, la figura 5.14 muestra los nodos en los que se obtuvieron los desplazamientos en este anuncio, además, las tablas 5.5 y 5.6 muestran los desplazamientos en los nodos de referencia para ambas versiones del manual.

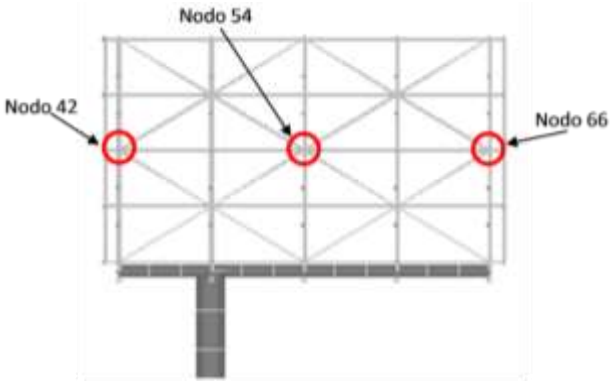



Figura 5.14 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del “Letrero 2”.

Tabla 5.5 Desplazamientos en nodos del “Letrero 2”, MDOC 2008 (Modificado).

| MDOC 2008 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 4.1838 | 4.9376 | 6.1215 |
| 10 | 17.6471 | 20.8534 | 25.8884 |
| 15 | 41.7898 | 49.377 | 61.2915 |
| 20 | 78.1477 | 92.3288 | 114.5979 |
| 25 | 128.3564 | 151.64 | 188.2031 |
| 30 | 193.9101 | 229.0746 | 284.2946 |
| 35 | 276.095 | 326.1511 | 404.7558 |
| 40 | 375.9989 | 444.1534 | 551.1787 |

Tabla 5.6 Desplazamientos en nodos del “Letrero 2”, MDOC 2020 (Modificado).

| MDOC 2020 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 4.2671 | 5.0357 | 6.2425 |
| 10 | 17.9528 | 21.2135 | 26.334 |
| 15 | 42.4836 | 50.1941 | 62.3022 |
| 20 | 79.4118 | 93.8172 | 116.4384 |
| 25 | 130.3588 | 153.997 | 191.1168 |
| 30 | 196.7797 | 232.4513 | 288.4677 |
| 35 | 279.912 | 330.641 | 410.3025 |
| 40 | 380.792 | 449.7891 | 558.1375 |

Este anuncio se encuentra en forma de bandera, por lo que mientras más alejado del tubo de soporte este el nodo, mayor será su desplazamiento. A continuación, se muestran de manera gráfica los desplazamientos en los tres nodos representativos, las figuras 5.15, 5.16 y 5.17 muestran una comparativa de la respuesta de ambas versiones del manual con el manual ASCE, el código europeo y el procesamiento de señales.

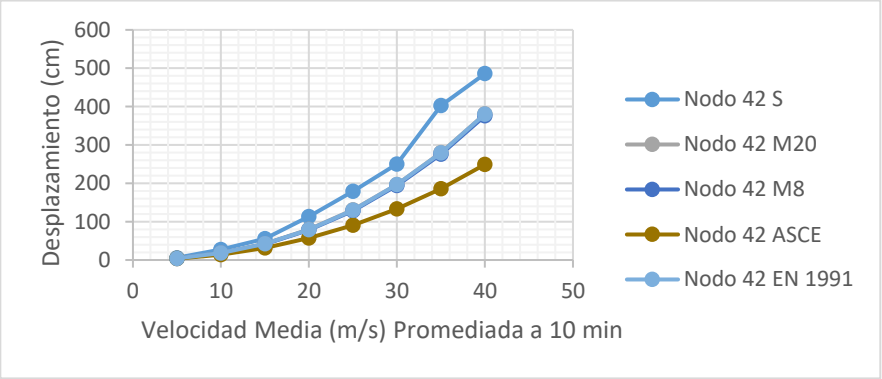



Figura 5.15 Respuesta del nodo 42 “Letrero 2”.

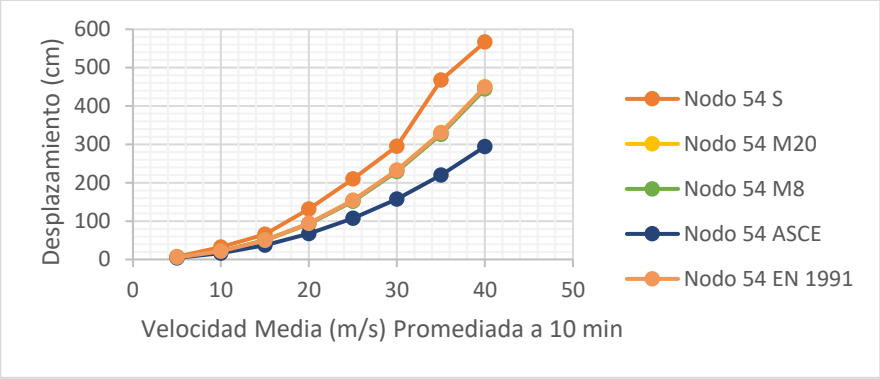



Figura 5.16 Respuesta del nodo 54 “Letrero 2”.

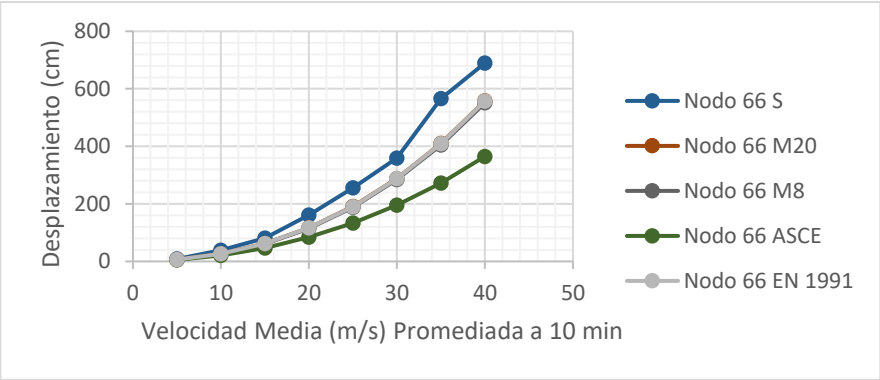



Figura 5.17 Respuesta del nodo 66 “Letrero 2”.

### 5.8.3 Respuesta del “Letrero 3”

El “Letrero 3” es el anuncio con tres caras, las tres de las mismas dimensiones, tomando el desplazamiento de los nodos en la cara cargada con las acciones del viento, la figura 5.18 muestra los nodos en los que se obtuvieron los desplazamientos en este anuncio, por otro lado, las tablas 5.7 y 5.8 muestran los desplazamientos en dichos nodos para ambas versiones del manual.

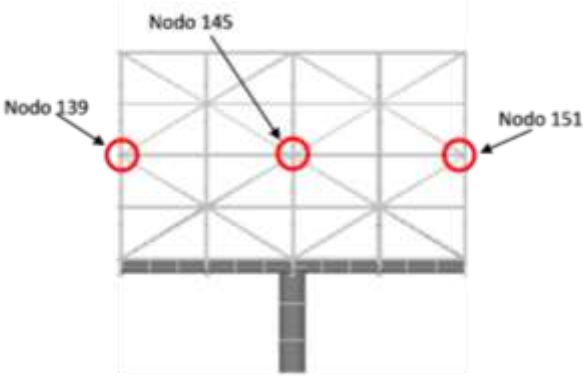



Figura 5.18 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del “Letrero 3”.

Tabla 5.7 Desplazamientos en nodos del “Letrero 3”, MDOC 2008 (Modificado).

| MDOC 2008 | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 151 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 4.2148 | 4.3457 | 4.2148 |
| 10 | 18.161 | 18.7296 | 18.161 |
| 15 | 44.2395 | 45.6237 | 44.2395 |
| 20 | 84.7622 | 87.4129 | 84.7622 |
| 25 | 141.6547 | 146.083 | 141.6547 |
| 30 | 216.399 | 223.1619 | 216.399 |
| 35 | 310.1371 | 319.8271 | 310.1371 |
| 40 | 423.7736 | 437.0113 | 423.7736 |

Tabla 5.8 Desplazamientos en nodos del “Letrero 3”, MDOC 2020 (Modificado).

| MDOC 2020 | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 151 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 4.2973 | 4.4306 | 4.2973 |
| 10 | 18.4808 | 19.0593 | 18.4808 |
| 15 | 44.9774 | 46.3842 | 44.9774 |

Continua Tabla 5.8 Desplazamientos en nodos del “Letrero 3”, MDOC 2020 (Modificado).

| MDOC 2020 | Nodo 139 | Nodo 145 | Nodo 151 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 20 | 86.0605 | 88.7509 | 86.0605 |
| 25 | 143.5825 | 148.0694 | 143.5825 |
| 30 | 218.9522 | 225.7923 | 218.9522 |
| 35 | 313.2489 | 323.0324 | 313.2489 |
| 40 | 427.3227 | 440.6661 | 427.3227 |

Al igual que en el “Letrero 1” los nodos en los extremos tienen los mismos desplazamientos, esto debido a la simetría de la cartelera, y de igual forma en el nodo central los desplazamientos son menores a los extremos, esto se debe a que el tubo que se usa de soporte para la cartelera se encuentra en el centro, como los desplazamientos de los extremos son iguales, únicamente se mostrará de manera gráfica uno de los dos nodos para todas las velocidades, las figuras 5.19 y 5.20 muestran una comparativa con los manuales antes mencionados y el procesamiento de señales.

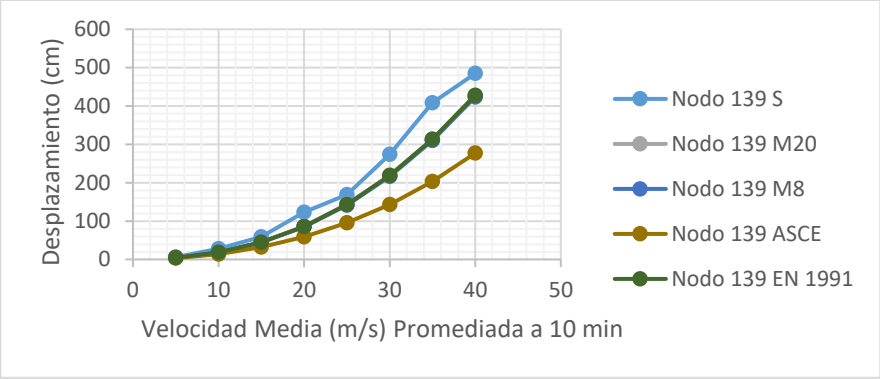



Figura 5.19 Respuesta del nodo 139 “Letrero 3”.

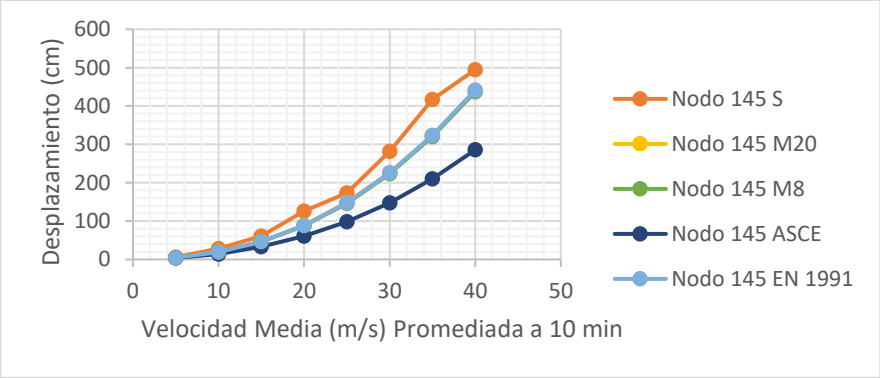



Figura 5.20 Respuesta del nodo 145 “Letrero 3”.

### 5.8.4 Respuesta del “Letrero 4”

El denominado “Letrero 4” es el anuncio que cuenta con el tubo de soporte al centro de la estructura al igual que el “Letrero 1” pero con una altura mayor, la figura 5.21 muestra los nodos en los que se obtuvieron los desplazamientos en este anuncio, por otro lado, las tablas 5.9 y 5.10 muestran los desplazamientos en dichos nodos para ambas versiones del manual.

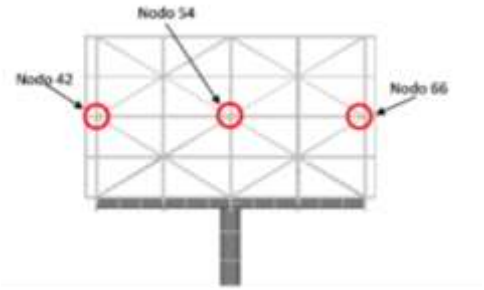



*Figura 5.21 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del “Letrero 4”.*

Tabla 5.9 Desplazamientos en nodos del “Letrero 4”, MDOC 2008 (Modificado).

| MDOC 2008 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 8.8172 | 8.5084 | 8.8172 |
| 10 | 37.616 | 36.2859 | 37.616 |
| 15 | 90.7221 | 87.517 | 90.7221 |
| 20 | 172.4276 | 166.3397 | 172.4276 |
| 25 | 286.5438 | 276.4314 | 286.5438 |
| 30 | 432.4976 | 417.112 | 432.4976 |
| 35 | 623.5717 | 601.5797 | 623.5717 |
| 40 | 850.8373 | 820.8377 | 850.8373 |

Tabla 5.10 Desplazamientos en nodos del “Letrero 4”, MDOC 2020 (Modificado).

| MDOC 2020 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 66 |
|---|---|---|---|
| Velocidad media | Desplazamiento | | |
| m/s | cm | cm | cm |
| 5 | 8.9456 | 8.6325 | 8.9456 |
| 10 | 38.0781 | 36.7322 | 38.0781 |
| 15 | 91.748 | 88.508 | 91.748 |
| 20 | 174.1724 | 168.0254 | 174.1724 |
| 25 | 289.029 | 278.8332 | 289.029 |
| 30 | 439.2221 | 423.7338 | 439.2221 |
| 35 | 627.0355 | 604.9311 | 627.0355 |
| 40 | 854.2942 | 824.1861 | 854.2942 |

Las figuras 5.22 y 5.23 muestran una comparativa de los manuales con el procesamiento de señales.

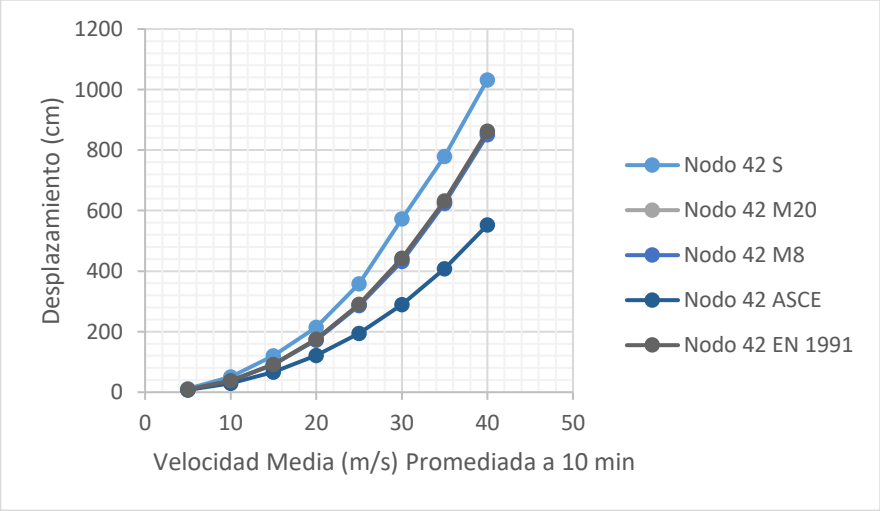



Figura 5.22 Respuesta del nodo 42 “Letrero 4”.

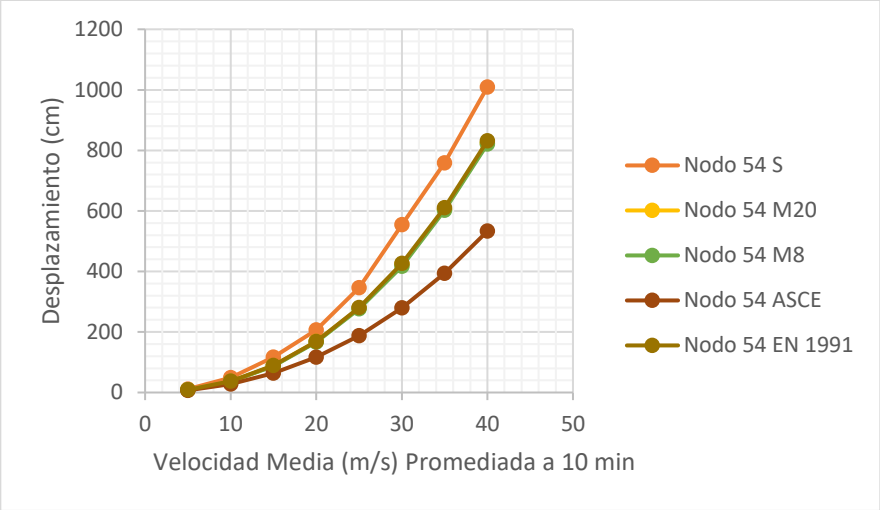



Figura 5.23 Respuesta del nodo 54 “Letrero 4”.

## 5.9 MOMENTOS DE VOLTEO

Se obtuvieron los momentos de volteo en los cuatro letreros, con velocidades medias que van desde 5 m/s hasta 40 m/s. Estos momentos fueron revisados de dos puntos en particular, el primero, es del nodo de unión entre el tubo poste y el tubo trabe que soporta la cartelera, mientras que el segundo es tomado en la base de la estructura, los cuales representan los puntos más vulnerables de la estructura.

Tabla 5.11 Momentos de volteo en la base de la cartelera MDOC 2008 (Modificado).

| Base de la cartelera | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Velocidad Media | $M_V$ "Letrero 1" | $M_V$ "Letrero 2" | $M_V$ "Letrero 3" | $M_V$ "Letrero 4" |
| m/s | N-m | N-m | N-m | N-m |
| 5 | 24959.75 | 24973.88 | 23619.02 | 26897.25 |
| 10 | 106078.33 | 106214.94 | 102623.04 | 115853.4 |
| 15 | 250721.17 | 251339.89 | 249799.68 | 279162.58 |
| 20 | 468029.25 | 469774.66 | 478370.88 | 530256.64 |
| 25 | 767601.31 | 771310.1 | 799153.06 | 880791.91 |
| 30 | 1158299.16 | 1164884.29 | 1220459.76 | 1340083.37 |
| 35 | 1647808.61 | 1658193.03 | 1748700.72 | 1915502.59 |
| 40 | 2242656.58 | 2257733.48 | 2388935.02 | 2612964.98 |

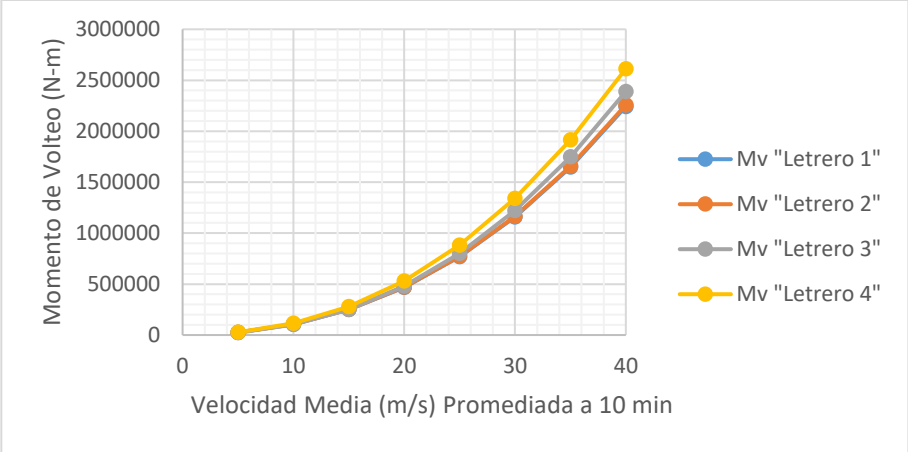



Figura 5.24 Momentos de Volteo en la base de la cartelera MDOC 2008 (Modificado).

Tabla 5.12 Momentos de volteo en la base de la estructura MDOC 2008 (Modificado).

| Base del soporte | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Velocidad Media | $M_V$ "Letrero 1" | $M_V$ "Letrero 2" | $M_V$ "Letrero 3" | $M_V$ "Letrero 4" |
| m/s | N-m | N-m | N-m | N-m |
| 5 | 183351.68 | 183457.15 | 173979.99 | 242943.43 |
| 10 | 770380.13 | 771371.69 | 746714.68 | 1032005.11 |
| 15 | 1822697.26 | 1827195.02 | 1819611.71 | 2489996.77 |
| 20 | 3404847.76 | 3417546.53 | 3487182.41 | 4733819.69 |
| 25 | 5587082.81 | 5614076.51 | 5828825.27 | 7868371.22 |
| 30 | 8434296.2 | 8482246.5 | 8905674.95 | 11829463.61 |
| 35 | 12002771.48 | 12078411.92 | 12764847.1 | 17128090.33 |
| 40 | 16340403.57 | 16450255.03 | 17443707.79 | 23373202.62 |

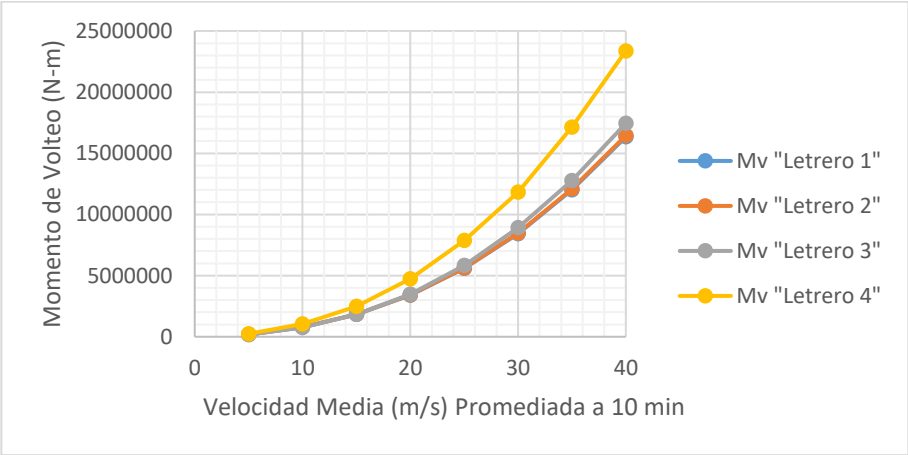



Figura 5.24 Momentos de Volteo en la base de la estructura MDOC 2008 (Modificado).

Tabla 5.13 Momentos de volteo en la base de la cartelera MDOC 2020 (Modificado).

| Base de la cartelera | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Velocidad Media | $M_V$ "Letrero 1" | $M_V$ "Letrero 2" | $M_V$ "Letrero 3" | $M_V$ "Letrero 4" |
| m/s | N-m | N-m | N-m | N-m |
| 5 | 25446.33 | 25459.32 | 24069.24 | 27273.87 |
| 10 | 107878.09 | 108018.14 | 104394.89 | 117229.9 |
| 15 | 254786.57 | 255423.28 | 253876.9 | 282203.3 |
| 20 | 475421.19 | 477202.35 | 485521.92 | 535396.56 |
| 25 | 779311.73 | 783055.49 | 809728.92 | 888049.54 |
| 30 | 1175095.7 | 1181683.56 | 1234397.17 | 1349027.55 |
| 35 | 1670172.19 | 1680485.04 | 1765576.14 | 1925293.85 |
| 40 | 2270767.59 | 2285645.78 | 2408019.12 | 2622414 |

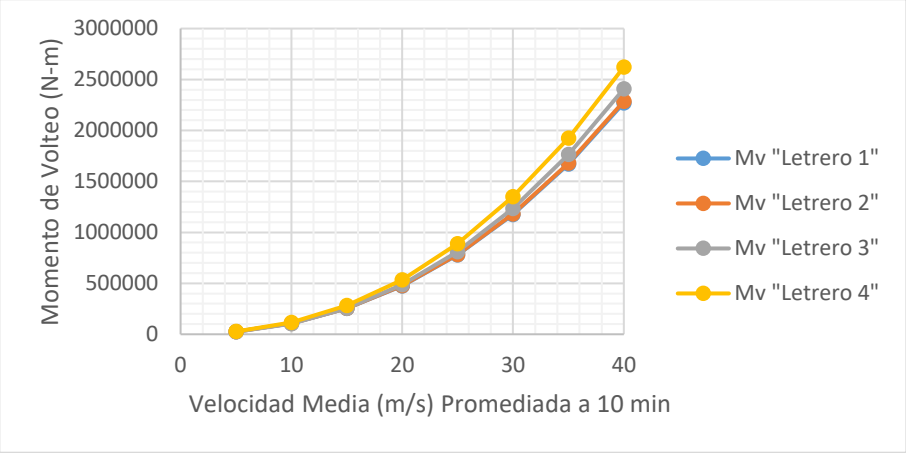



Figura 5.25 Momentos de Volteo en la base de la cartelera MDOC 2020 (Modificado).

Tabla 5.14 Momentos de volteo en la base de la estructura MDOC 2020 (Modificado).

| Base del soporte | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Velocidad Media | $M_V$ "Letrero 1" | $M_V$ "Letrero 2" | $M_V$ "Letrero 3" | $M_V$ "Letrero 4" |
| m/s | N-m | N-m | N-m | N-m |
| 5 | 187073.84 | 187169.19 | 177446.04 | 246583.59 |
| 10 | 783879.74 | 784897.83 | 760051.84 | 1044991.44 |
| 15 | 1853304.9 | 1857936.36 | 1850439.47 | 2518927.55 |
| 20 | 3460640.17 | 3473607.03 | 3541528.55 | 4783228.67 |
| 25 | 5675688.72 | 5702954.58 | 5909727.88 | 7939160 |
| 30 | 8561759.99 | 8609759.33 | 9013189.46 | 12066734.58 |
| 35 | 12173088.03 | 12248253.74 | 12896461.11 | 17228902.98 |
| 40 | 16555413.45 | 16663884.4 | 17594670.76 | 23475964.81 |

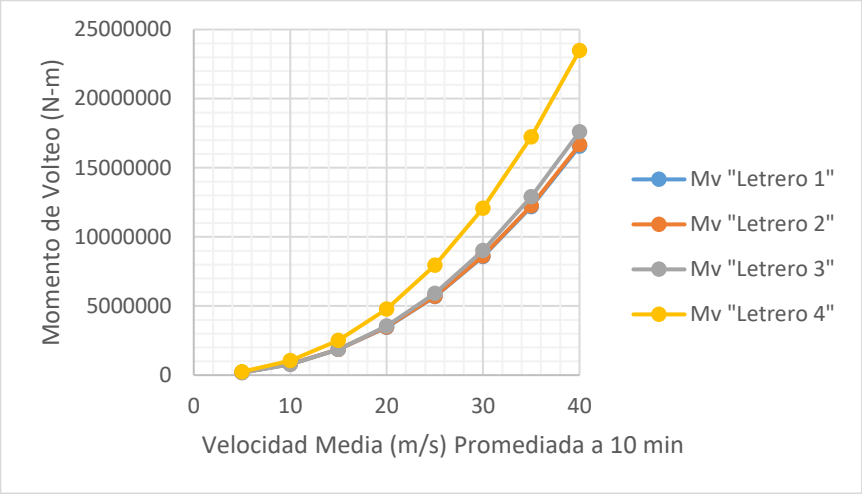



Figura 5.26 Momentos de Volteo en la base de la estructura MDOC 2020 (Modificado).

## 5.10 FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS EN LA CARTELERA PARA LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DEL TERRENO

Durante el proceso se obtuvieron las fuerzas y desplazamientos en los diferentes letreros para cada una de las diferentes categorías de terreno, a continuación, se muestra de manera gráfica la respuesta de los distintos letreros para todos los manuales, esta respuesta, a diferencia de las gráficas mostradas anteriormente, no cuenta con las fuerzas en el tubo, únicamente muestran de manera comparativa la respuesta con la fuerza de la cartelera entre el código europeo, el manual ASCE y ambas versiones del MDOC en ambas versiones (modificadas).

Para esta comparativa se utilizaron los mismos valores para los datos utilizados en todos los manuales sin importar si existían discrepancias en los mismos, como es el coeficiente de presión el cual es de 2.2 y la densidad del aire la cual se tomó igual a 1.225 kg/m3, un amortiguamiento de 0.02 y para la conversión a un tiempo de promediación de 10 minutos se utilizará 0.702 como en los MDOC.

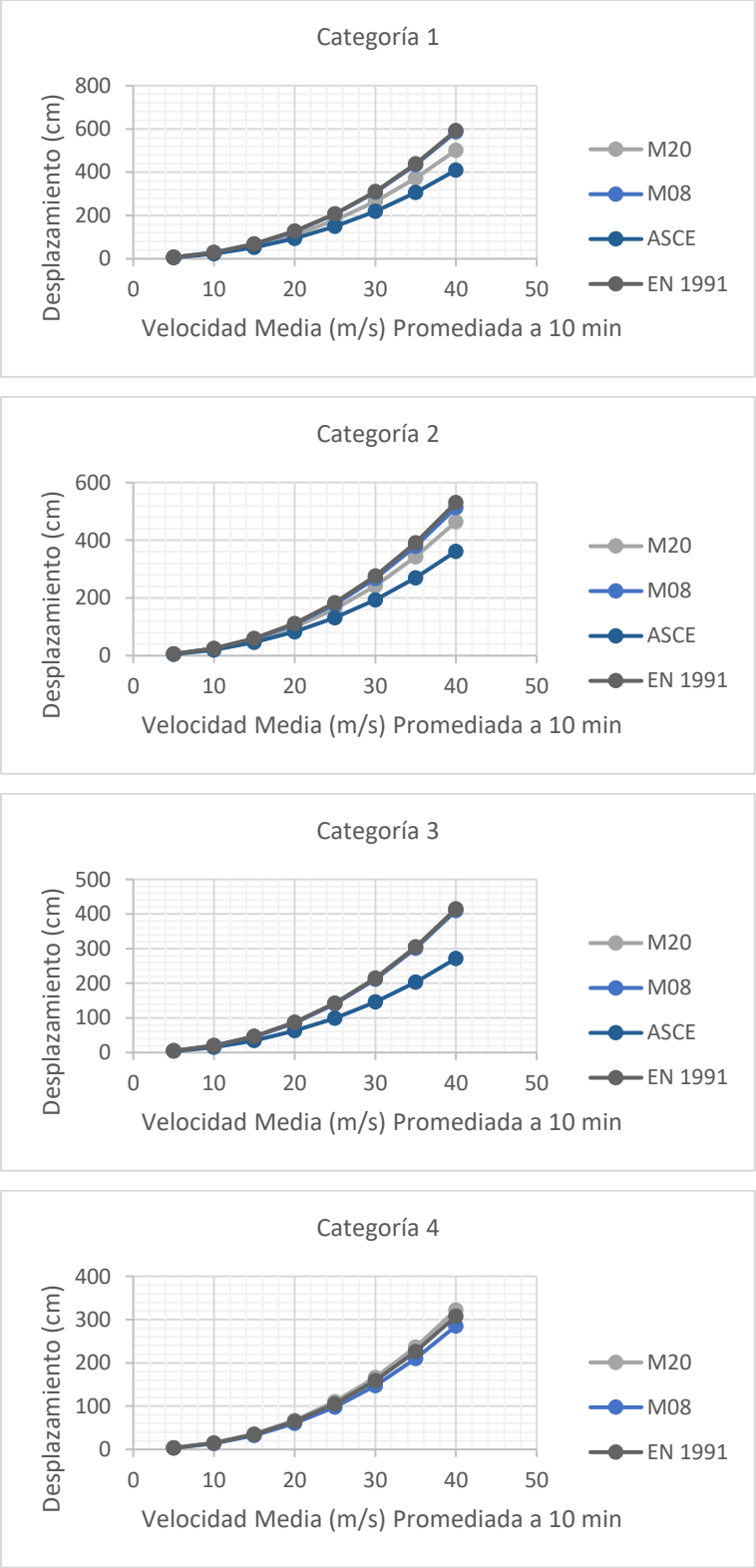



Figura 5.26 Respuesta del nodo 42, “Letrero 1”.

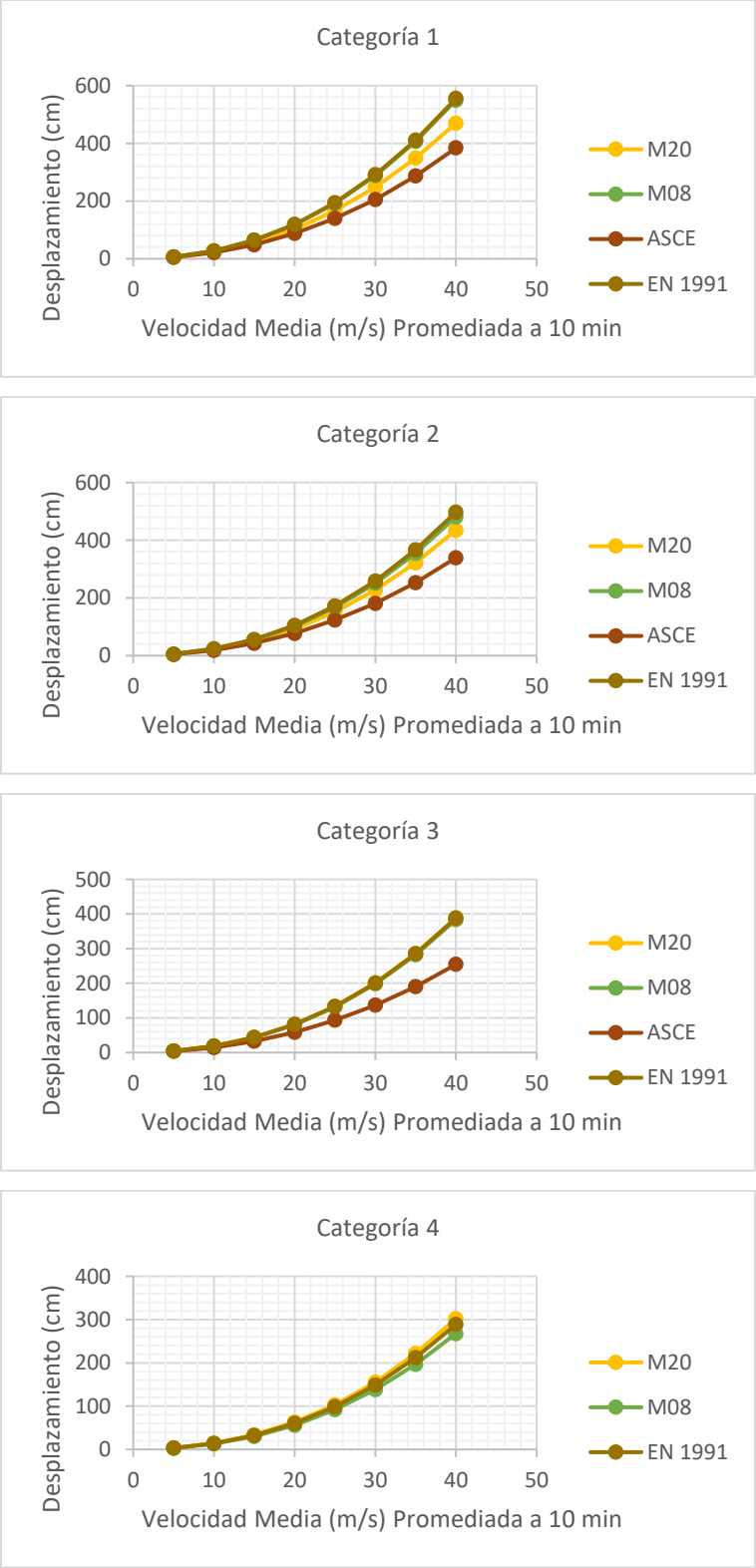



Figura 5.27 Respuesta del nodo 54, “Letrero 1”.

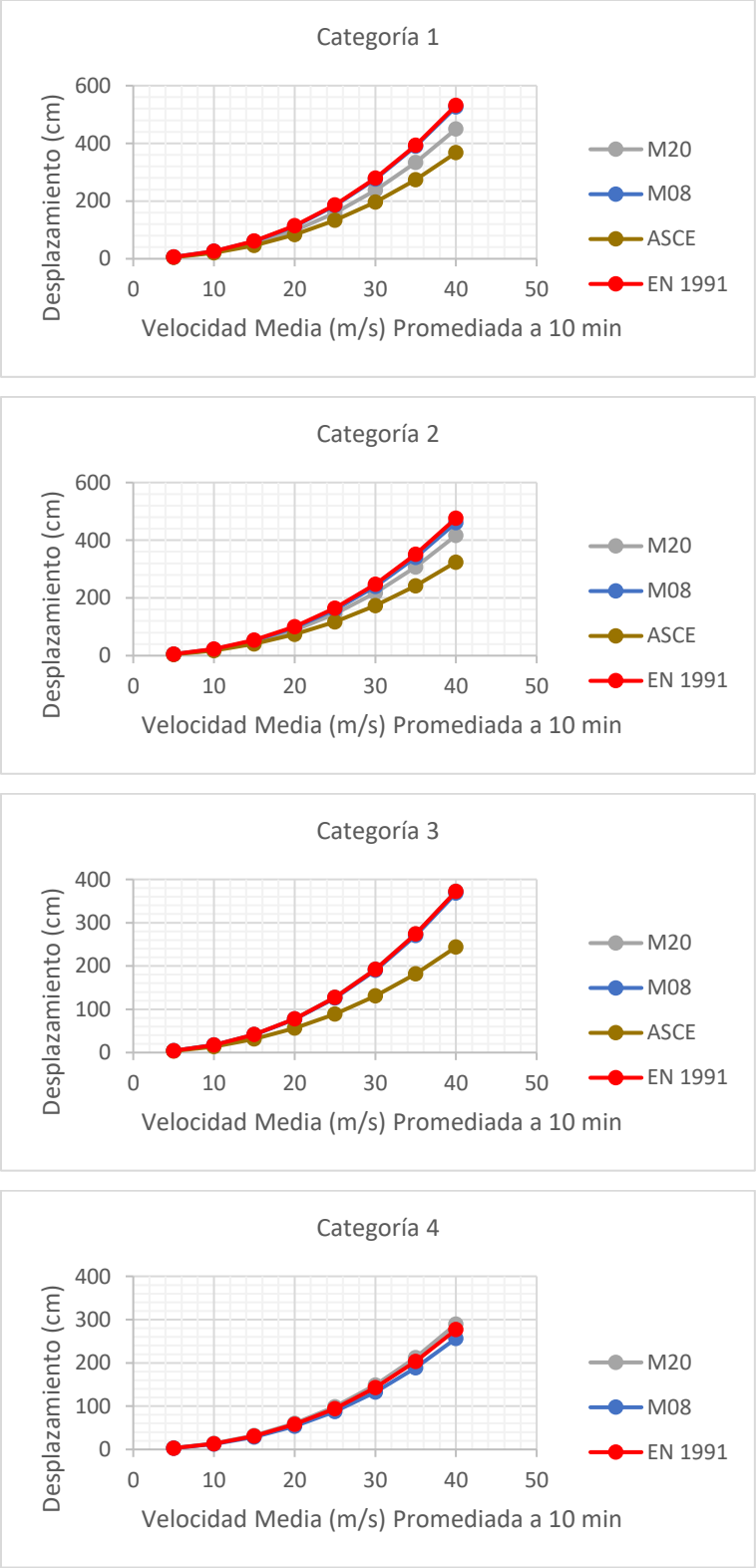



Figura 5.28 Respuesta del nodo 42, “Letrero 2”.

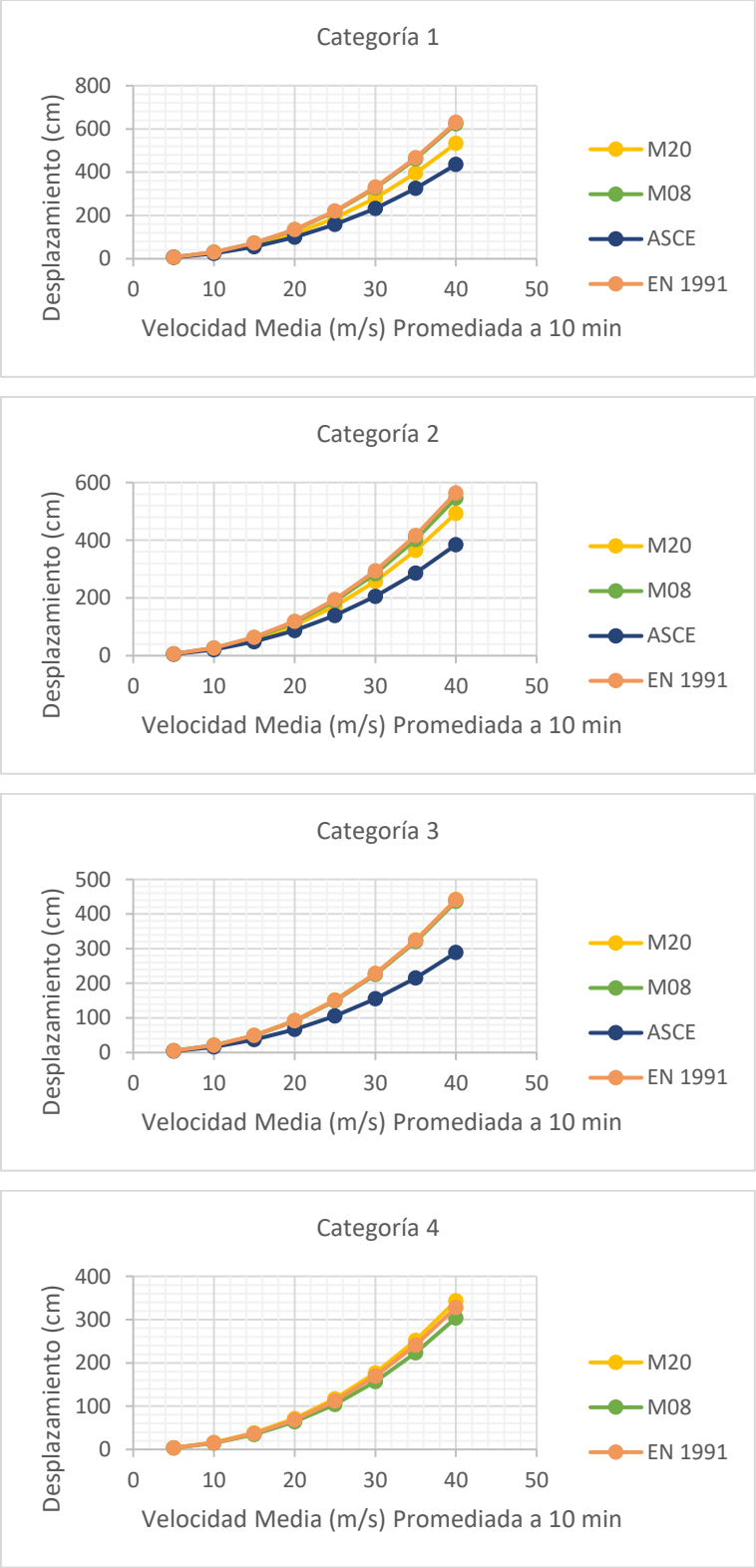



Figura 5.29 Respuesta del nodo 54, “Letrero 2”.

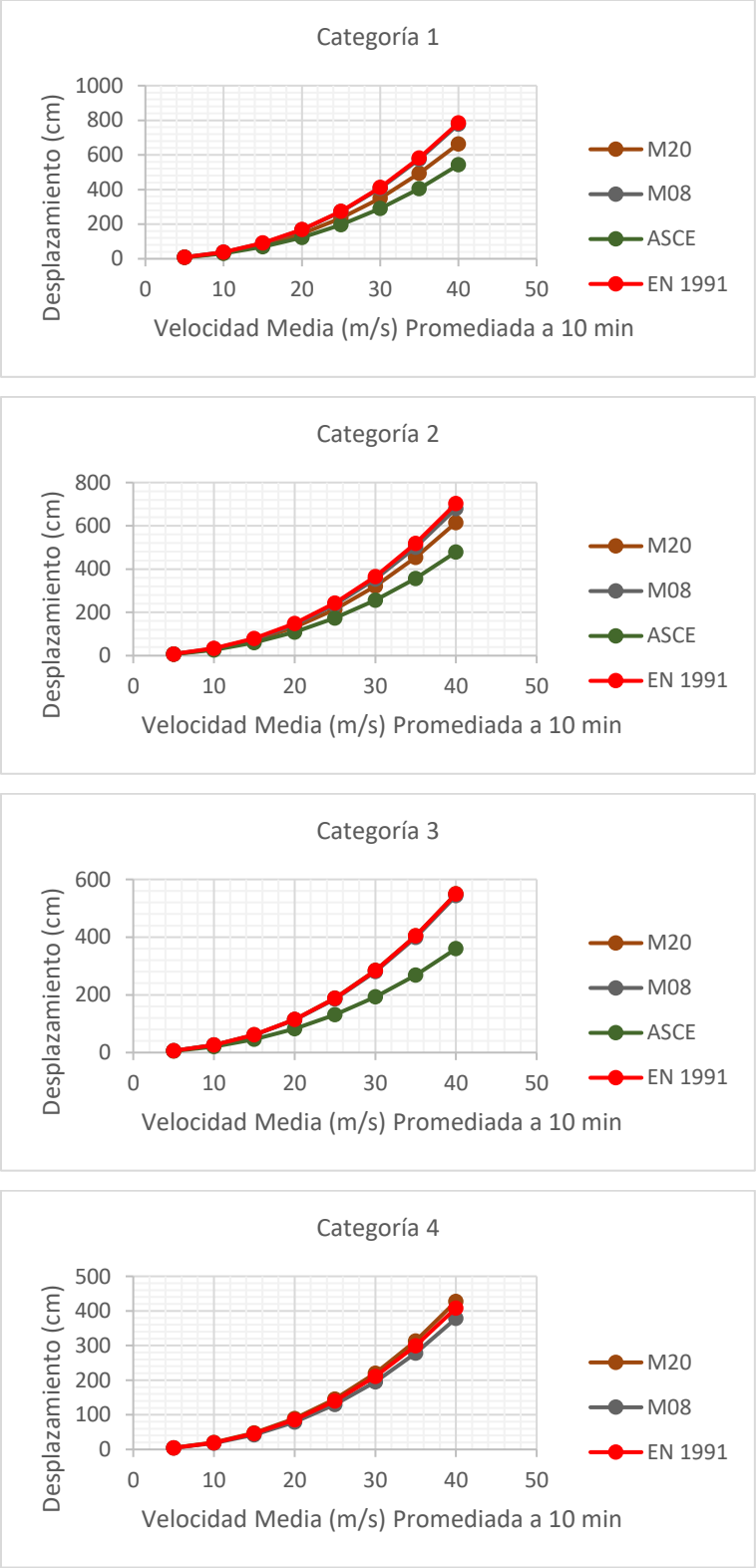



Figura 5.30 Respuesta del nodo 66, “Letrero 2”.

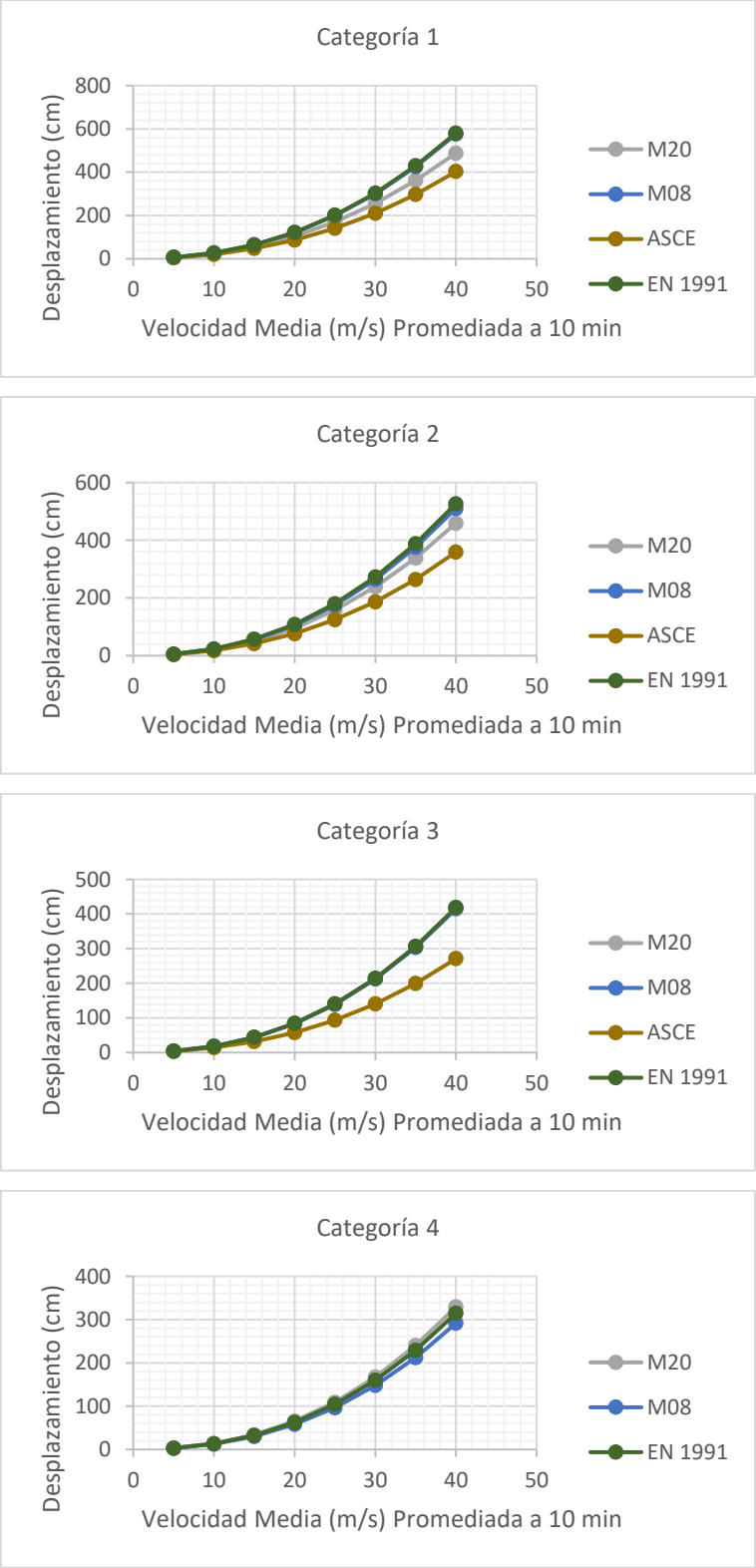



Figura 5.31 Respuesta del nodo 139, “Letrero 3”.

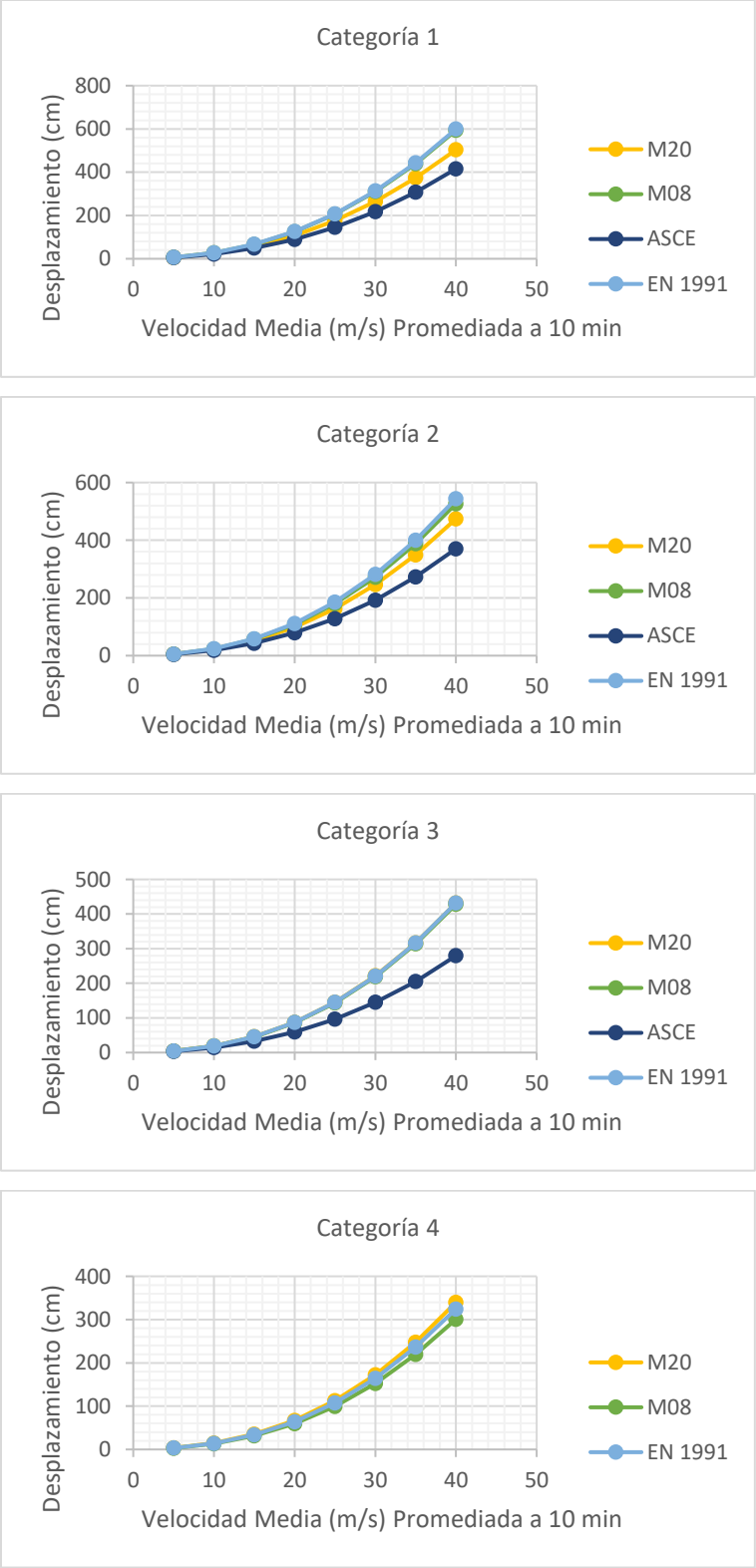



Figura 5.32 Respuesta del nodo 145, “Letrero 3”.

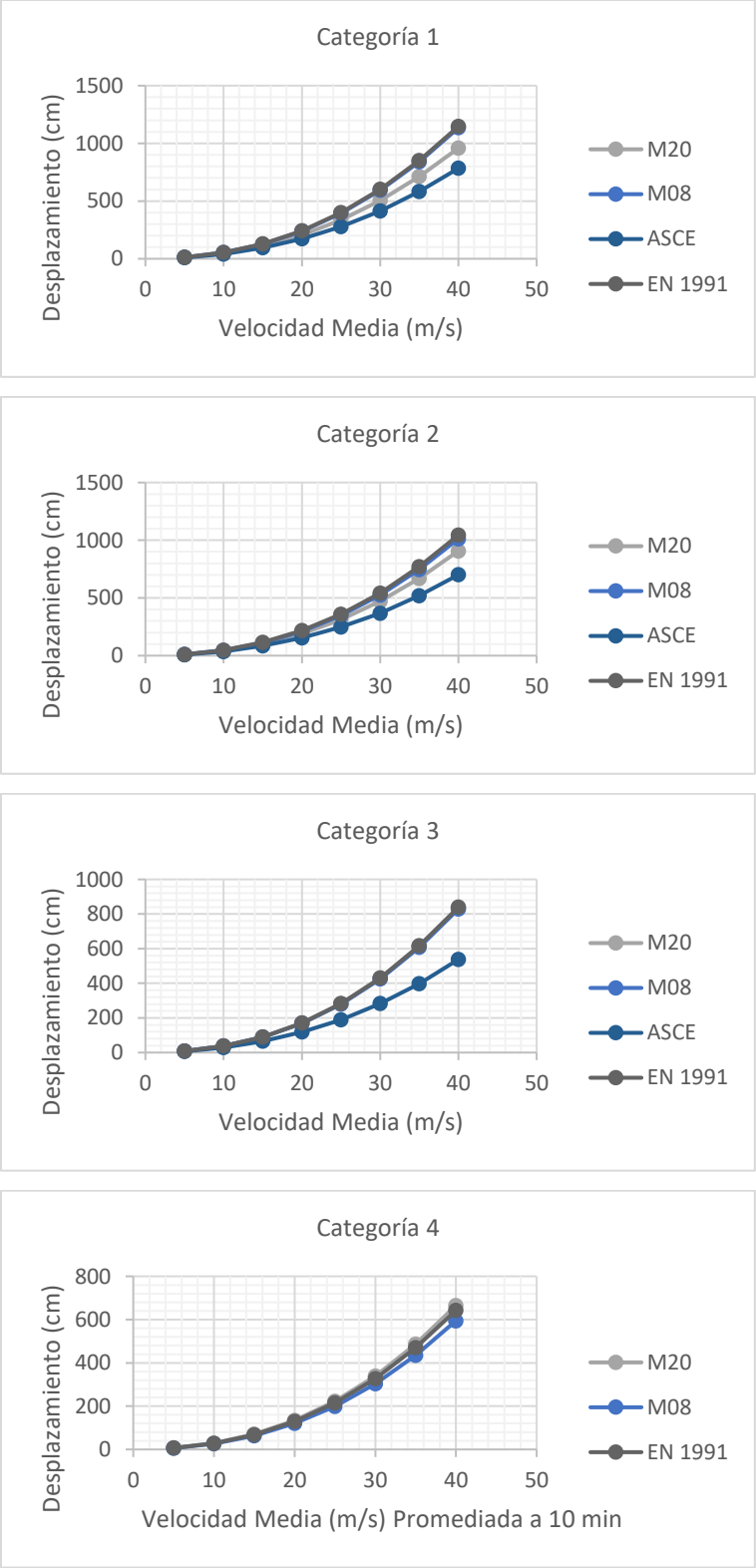



Figura 5.33 Respuesta del nodo 42, “Letrero 4”.

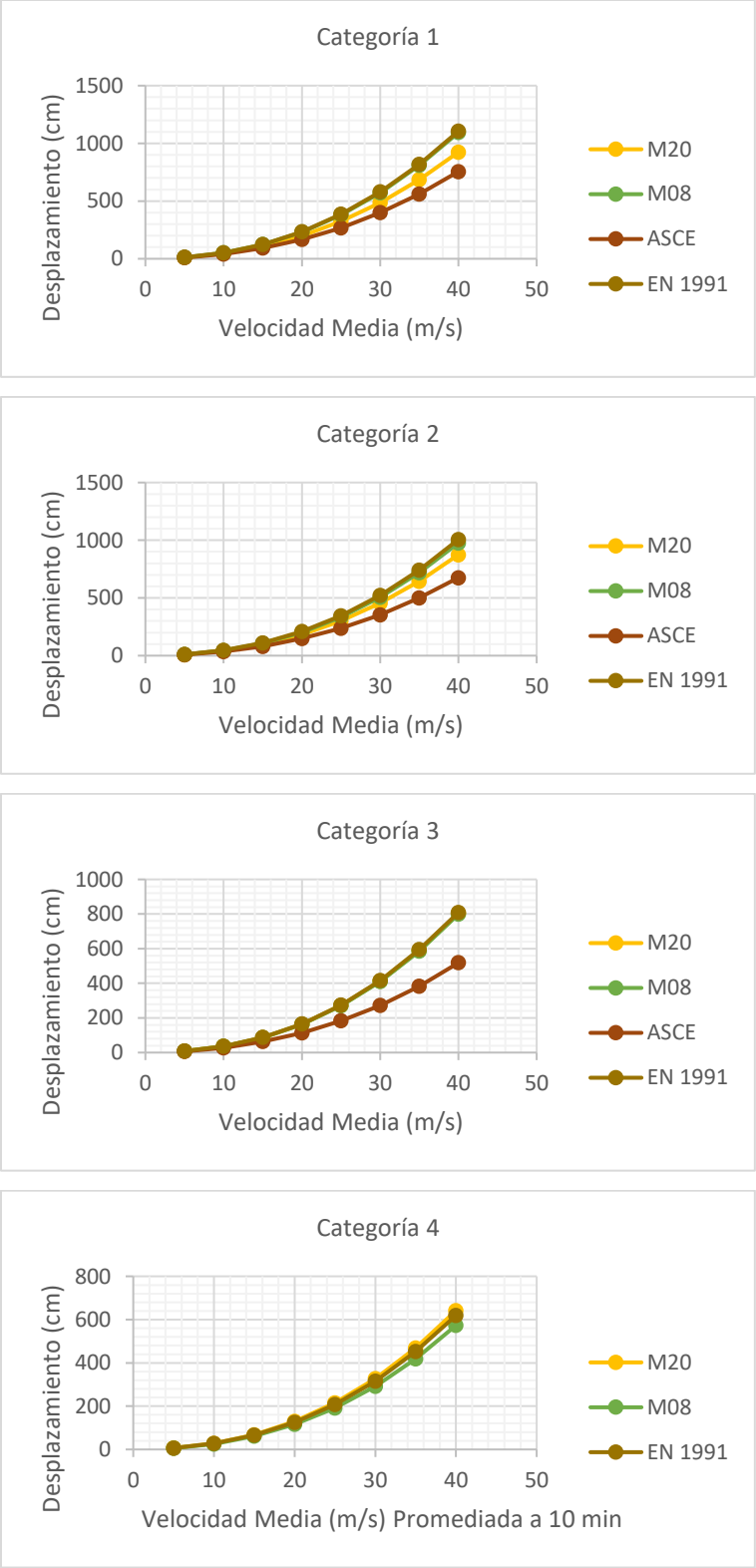



Figura 5.34 Respuesta del nodo 54, “Letrero 4”.

A continuación, se muestran los desplazamientos del "Letrero 1" para las 4 categorías de terreno, en estás podemos el crecimiento en la respuesta con respecto a cada categoría.

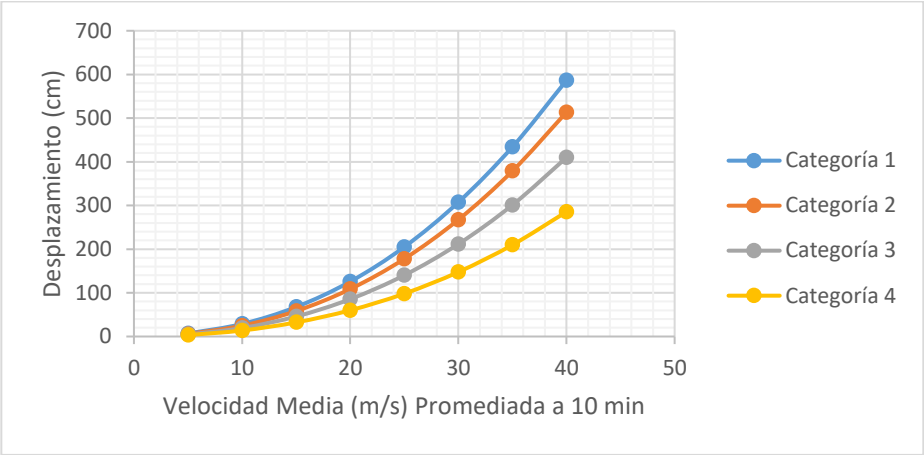



Figura 5.35 Desplazamientos en el nodo 42, MDOC 2008 (Modificado).

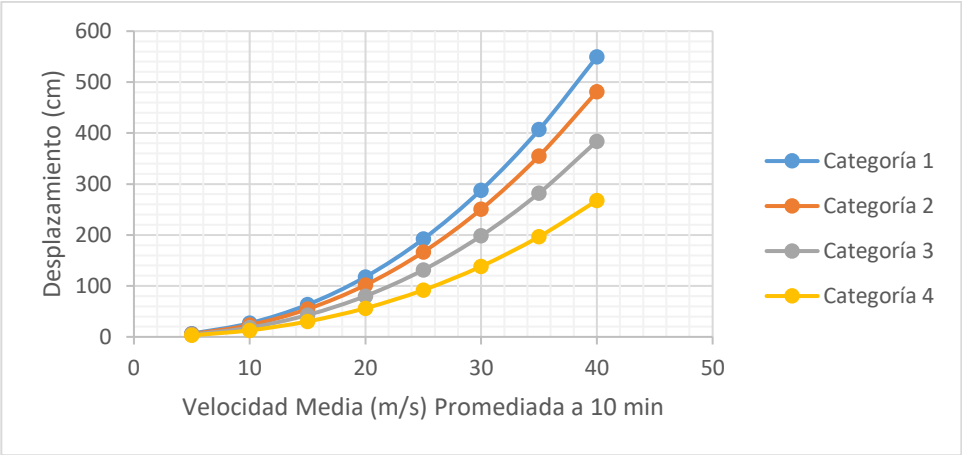



Figura 5.36 Desplazamientos en el nodo 54, MDOC 2008 (Modificado).

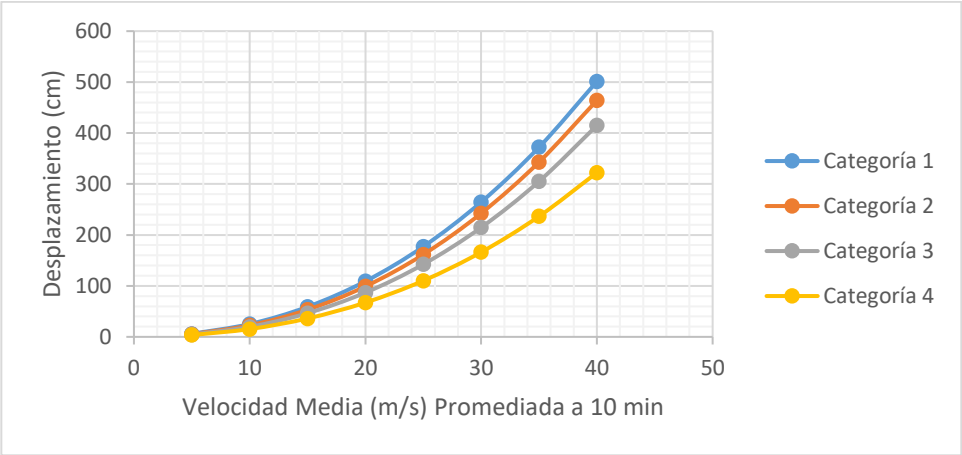



Figura 5.37 Desplazamientos en el nodo 42, MDOC 2020 (Modificado).

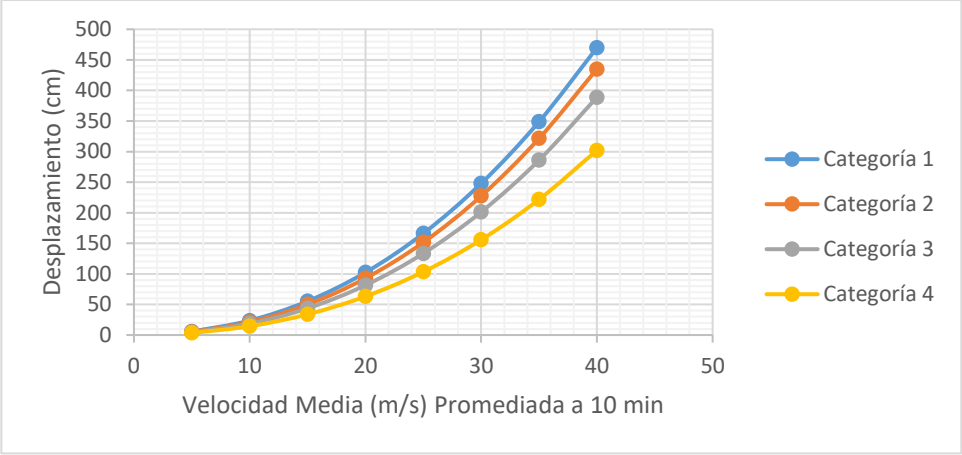



Figura 5.38 Desplazamientos en el nodo 54, MDOC 2020 (Modificado).

Como se puede ver, el incremento dependiendo el tipo de categoría es uniforme, por lo cual se muestran únicamente los desplazamientos y fuerzas del "Letrero 1".

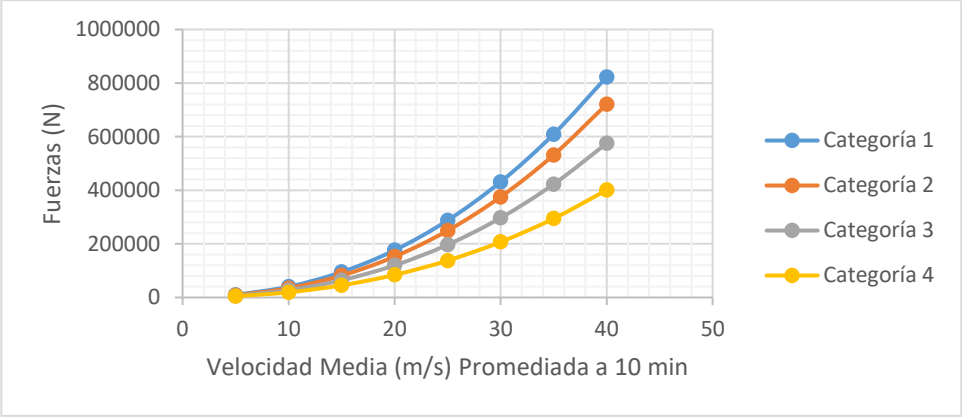



Figura 5.39 Fuerzas en la cartelera, MDOC 2008 (Modificado).

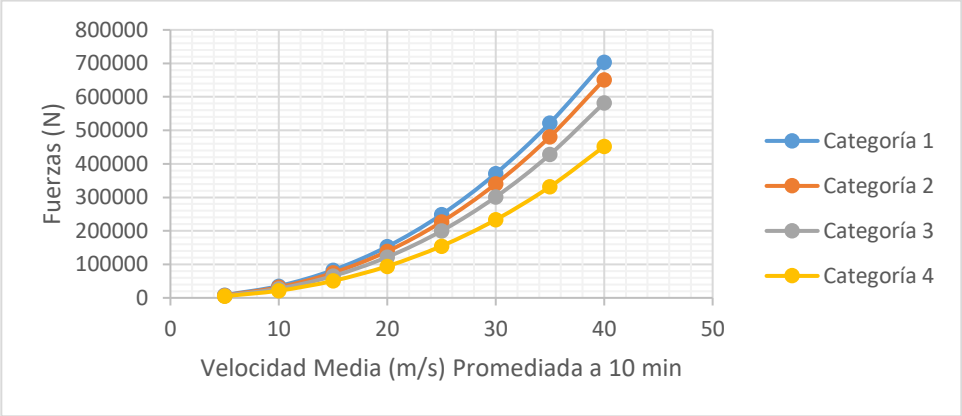



Figura 5.40 Fuerzas en la cartelera, MDOC 2020 (Modificado).

## 5.11 CONCLUSIONES

- La respuesta en cada una de las estructuras varia con respecto al método utilizado, teniendo desplazamientos muy similares entre el código europeo y el MDOC (2008 y 2020 modificados), no así con el manual ASCE el cual cuenta con una respuesta menor, a diferencia de la revisión anterior, en estas versiones se modificaron algunas fórmulas para tomar en cuenta la contribución de la ráfaga en el análisis, la cual influye de manera significativa en el aumento de la respuesta.
- Para las categorías 1 y 2, el MDOC 2008 es muy parecido al código europeo, mientras en la categoría 3 es prácticamente idéntico, mientras que en la categoría 4 queda por debajo del código europeo y el MDOC 2020, por otro lado, el MDOC 2020 se encuentra por debajo de los dos manuales mencionados en las categorías 1 y 2, mientras que en la categoría 3 es igual a los otros dos, en la categoría 4 queda por encima de ambos, el manual ASCE queda por debajo del resto en todas las categorías de terreno.
- El procesamiento de señales mantiene desplazamientos mayores a los obtenidos por medio de ambas versiones del MDOC modificadas, el código europeo y el manual ASCE.

## 5.12 REFERENCIAS

Manual de diseño de obras civiles (2008), Diseño por viento, Comisión Federal de Electricidad.

Manual de diseño de obras civiles (2020), Diseño por viento, Comisión Federal de Electricidad.

# CAPÍTULO 6

# ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DE UN ANUNCIO ESPECTACULAR MEDIANTE EL USO DEL MDOC Y OTROS CÓDIGOS

## 6.1 INTRODUCCIÓN

En México, cada año se tienen daños debido a los fuertes vientos que azotan las costas del país, debido a su ubicación geográfica, México sufre daños por vientos provenientes del océano Pacifico, golfo de México y el Caribe. Los daños ocasionados van desde caída de árboles, daños a líneas de electricidad, anuncios de publicidad, vialidades, edificios y vidas humanas. Siendo el tema de estudio de este trabajo los anuncios espectaculares, los cuales tienen daños considerables cada temporada de vientos fuertes en México, desde desprendimiento de lonas, hasta el colapso de la estructura.

El Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad en su capítulo Diseño por Viento, tiene como objeto determinar la velocidad del viento en los diversos estados de la República Mexicana, además de la obtención de fuerzas necesarias para el análisis de diversos tipos de estructuras, entre ellas anuncios espectaculares de tipo monopolar.

A lo largo de este capítulo se mostrará el procedimiento utilizado por el MDOC, Diseño por Viento en sus versiones 2008 y 2020 para el cálculo de las fuerzas ocasionadas por los efectos del viento en cuatro estructuras de tipo monopolar, denominadas “Letrero 1”, “Letrero 2”, “Letrero 3” y “Letrero 4”, mismas que fueron mencionadas con anterioridad, y en las que podremos observar el cómo se ven afectadas por acción del viento mediante el proceso descrito en ambas versiones del manual, del mismo modo, se realizará el método descrito en el código europeo EN-1991 y el manual ASCE, esto con el fin de comparar los resultados de los 4 planteamientos, mediante el desarrollo de los mismos, tal cual lo recomienda cada manual.

## 6.2 PROCEDIMIENTO DE LOS MDOC

### 6.2.1 Cálculo de la velocidad básica de diseño

El cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento se llevará a cabo de manera paralela con ambas versiones del MDOC, Diseño por viento en sus versiones 2008 y 2020, haciendo énfasis en sus diferencias. Comenzando con el cálculo de la velocidad básica de diseño ($V_D$).

Las estructuras se clasifican dependiendo de su respuesta ante la acción del viento en cuatro tipos, los anuncios unipolares se encuentran en el tipo 3, estructuras sensibles al viento con periodos naturales que favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes en las cuales además se forman vórtices periódicos en la estructura. Es importante mencionar que no se consideró el efecto del desprendimiento en vórtices al realizar el análisis de la respuesta en estás estructuras.

La velocidad básica de diseño, en km/h, la cual es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura se obtendrá con la ecuación 6.1:

$$V_D = F_T F_{rz} V_R \tag{6.12}$$

donde $F_T$ es el factor que depende de la topografía, adimensional, $F_{rz}$, es el factor de exposición para la velocidad media, adimensional, y $V_R$ (km/hr) la velocidad regional de ráfaga que le corresponde al sitio en donde se localiza la estructura.

En el análisis se toma en cuenta tanto la topografía como la exposición en el sitio donde se encuentre la estructura, debido a esto se categoriza el terreno dependiendo de la topografía y las obstrucciones que existan en la zona. La figura 6.1 muestra la categoría del terreno según su rugosidad tanto en el MDOC 2008 como 2020, para la demostración de los mismos se tomará una categoría de terreno 3 para áreas urbanas y suburbanas, cubiertas con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas.

Tabla 4.2.1 CATEGORIA DEL TERRENO SEGÚN SU RUGOSIDAD

| Cat. | Descripción | Ejemplos | Limitaciones |
|---|---|---|---|
| 1 | Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua | Franjas costeras planas, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor, superficies nevadas planas | La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor |
| 2 | Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones | Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas | Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 10 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar |
| 3 | Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas | Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas | Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la nueva construcción, la que sea mayor |
| 4 | Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas | Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados | Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la nueva construcción |

a) MDOC 2018

Tabla 2.1 Categoría del terreno según su rugosidad.

| Cat. | Descripción | Ejemplos | Limitaciones |
|---|---|---|---|
| 1 | Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua. | Franjas costeras planas, bahías, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas, superficies nevadas planas. | Las obstrucciones existentes, tienen alturas menores que 1.5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 20 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor. |
| 2 | Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones. | Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas, árboles y construcciones dispersas. | Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 5 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 20 veces la altura de la construcción por diseñar. |
| 3 | Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. | Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas. | Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 a 10 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 20 veces la altura de la construcción, la que sea mayor. |
| 4 | Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas. | Grandes centros urbanos y complejos industriales bien desarrollados. | Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 20 veces la altura de la construcción. |

La selección de la Categoría de terreno debe realizarse considerando la permanencia de las obstrucciones que constituyen la rugosidad de la superficie del terreno. Por ejemplo, debe considerarse la posibilidad de que la vegetación no permanecerá durante eventos de viento intenso en regiones donde se presentan ciclones tropicales.

b) MDOC 2020

Figura 6.1 Categoría del terreno según su rugosidad.

### 6.2.2 Cálculo del factor de exposición

El factor de exposición local, representa el cómo la velocidad del viento va variando con la altura. En 6.2 se muestra la manera de obtener este factor según su variación con la altura.

$$F_{rz} = c \qquad \text{si } z \le 10 \tag{6.2a}$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha} \qquad \text{si } 10 < z < \delta \tag{6.2b}$$

$$F_{rz} = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha} \qquad \text{si } z \ge \delta \tag{6.2c}$$

donde z (m) es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño, α es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura, adimensional, δ (m) es la altura medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y se puede suponer constante; a

esta altura se le conoce como altura gradiente; y c es el coeficiente de escala de rugosidad, adimensional.
Las variables α, δ, y c, y se obtienen de las tablas del MDOC, Diseño por viento, en sus versiones 2008 y 2020, mostradas en la figura 6.2.

**Tabla 4.2.3 VALORES DE $\alpha$, $\delta$ Y $c$**

| Categoría del terreno | $\alpha$ | $\delta$ (m) | $c$ |
|---|---|---|---|
| 1 | 0.099 | 245 | 1.137 |
| 2 | 0.128 | 315 | 1.000 |
| 3 | 0.156 | 390 | 0.881 |
| 4 | 0.170 | 455 | 0.815 |

a) MDOC 2008

Tabla 2.2 Valores de $c$, $\alpha$ y $\delta$.

| Categoría del terreno | $c$ | $\alpha$ | $\delta$ (m) |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.142 | 0.061 | 280 |
| 2 | 1.000 | 0.095 | 350 |
| 3 | 0.832 | 0.140 | 410 |
| 4 | 0.668 | 0.192 | 470 |

b) MDOC 2020

Figura 6.2 Valores de α, δ y c.

A continuación, se muestra el cálculo de dicho factor, a una altura de 27.60 m, altura medida del nivel de piso hasta el centro de la cartelera del anuncio con una categoría del terreno de 3.

MDOC 2008

$$F_{rz} = 0.881\left(\frac{27.60}{10}\right)^{0.156} = 1.03218$$

MDOC 2020

$$F_{rz} = 0.832\left(\frac{27.60}{10}\right)^{0.140} = 0.95907$$

### 6.2.3 Factor de Topografía

El factor de topografía, como su nombre lo indica, es el que toma en cuenta la topografía del lugar donde se localiza la estructura y se obtiene de tablas las cuales son dadas por el MDOC, Diseño por viento, en sus versiones 2008 y 2020, la figura 6.3 muestra dichas tablas.

**Tabla 4.2.4 FACTOR DE TOPOGRAFÍA LOCAL, $F_T$**

| Sitios | Ejemplos de topografía local | $F_T$ |
|---|---|---|
| Protegidos | Valles cerrados | 0.9 |
| Normales | Terreno prácticamente plano: Campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5%. | 1.0 |
| Expuestos | Promontorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas. | Véanse las ecuaciones (4.2.6) a (4.2.8) |
| | Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas. | |

a) MDOC 2008

Tabla 2.3 Factor de topografía local, $F_T$.

| Sitios | Ejemplos de topografía local | $F_T$ |
|---|---|---|
| Protegidos | Valles cerrados | 0.9 |
| Normales | Terreno prácticamente plano: Ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5%. | 1.0 |
| Expuestos | Promontorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas. | Ver las ecuaciones 2.6 a 2.8 |
| | Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas. | |

b) MDOC 2020

Figura 6.3 Factor de Topografía.

### 6.2.4 Velocidad básica de diseño

La velocidad regional es dada por ambas versiones del manual, pero para efecto de esta revisión se utilizaron velocidades medias evaluadas a 10 minutos las cuales van de 5 m/s en incrementos de 5 m/s hasta llegar a 40 m/s. Para este ejemplo se usará una velocidad media de 10 m/s, cabe mencionar que se realizó una conversión de la velocidad ya que las velocidades regionales se dan evaluadas a 3 segundos. A continuación, se muestra el cálculo de la velocidad básica de diseño, en km/h, tomando como valor de 1 al factor de topografía.

MDOC 2008

$$V_D = 1*(1.03218)*(51.282) = 52.93$$

MDOC 2020

$$V_D = 1*(0.95907)*(51.282) = 49.18$$

### 6.2.5 Cálculo de la presión dinámica de base

La presión dinámica de base ($q_z$), es la presión ocasionada por la acción del viento en una superficie, la cual es perpendicular a la misma, está presión varia con respecto a la velocidad del viento y la dirección de la misma. La presión dinámica de base se determina de la siguiente manera:

$$q_z = 0.0048 G V_D^2 \tag{6.3}$$

donde $V_D$ (km/hr) es la velocidad básica de diseño, $q_z$ (kg/m$^2$) es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno, y G es el factor de corrección por temperatura y por la altura con respecto al nivel del mar, adimensional.

El factor G se obtiene por medio de la expresión mostrada a continuación:

$$G \frac{0.392\Omega}{273+\tau} \tag{6.4}$$

donde Ω (mm de Hg) es la presión barométrica, y τ (°C) es la temperatura ambiental.

El factor G se calculará con la altura sobre el nivel del mar y temperatura para Acapulco, Guerrero, se tomaron los respectivos valores para las versiones 2008 y 2020 del MDOC, Diseño por viento, para la versión 2008 se tiene una altura de 20 msnm y una temperatura de 27.9 °C, mientras que para la versión 2020 son 3 msnm y 10.7°C. Con estos datos, la presión barométrica se obtiene interpolando linealmente los valores de las tablas mostradas en la figura 6.4.

Tabla 4.2.5 RELACIÓN ENTRE LA ALTITUD Y LA PRESIÓN BAROMÉTRICA

| Altitud, $h_m$ (msnm) | Presión barométrica, Ω (mm de Hg) |
|---|---|
| 0 | 760 |
| 500 | 720 |
| 1000 | 675 |
| 1500 | 635 |
| 2000 | 600 |
| 2500 | 565 |
| 3000 | 530 |
| 3500 | 495 |

a) MDOC 2008

Tabla 3.1 Relación entre la altitud y la presión barométrica.

| Altitud, $h_m$ (msnm) | Presión barométrica, Ω (mm de Hg) |
|---|---|
| 0 | 760 |
| 500 | 720 |
| 1000 | 675 |
| 1500 | 635 |
| 2000 | 600 |
| 2500 | 565 |
| 3000 | 530 |
| 3500 | 495 |

b) MDOC 2020

Figura 6.4 Relación entre la altitud y la presión barométrica.

Por lo tanto, el factor G es igual a:

MDOC 2008

$$G \frac{0.392*(758.4)}{273+27.9} = 0.988$$

MDOC 2020

$$G \frac{0.392*(759.76)}{273+10.7} = 1.0498$$

Con el cálculo del factor G, además del valor de la velocidad básica de diseño calculado con anterioridad tenemos que la presión dinámica de base, en kg/m$^2$, es igual:

MDOC 2008

$$q_z = 0.0048 * 0.988 * (52.93)^2 = 13.286$$

MDOC 2020

$$q_z = 0.0048 * 1.04979 * (49.18)^2 = 12.187$$

### 6.2.6 Determinación de la velocidad media

La velocidad media ($V'_D$) es utilizada para determinar el factor de amplificación dinámica para el manual 2008 y el factor de respuesta de ráfaga para la versión 2020, es importante aclarar que la velocidad es promediada a 10 minutos.

La velocidad media, en m/s, se obtendrá con la ecuación:

$$V_D^{'} = \frac{F_T F_{rz}^{'} V_R}{3.6} \tag{6.5}$$

donde $F_T$ es el factor que depende de la topografía, adimensional y que será tomado igual a 1 en el ejemplo para ambas versiones del manual, $F'_{rz}$ el factor de exposición para la velocidad media, adimensional, y $V_R$ (km/hr) la velocidad regional de ráfaga, se usa la misma que en el cálculo de la velocidad básica de diseño.

### 6.2.7 Cálculo del factor de exposición para la velocidad media

El factor de exposición para la velocidad media, toma en cuenta la rugosidad del sitio, así como la velocidad y su variación con respecto a la altura, esta se define como se muestra a continuación:

$$F_{rz}^{'} = 0.702\bar{b} \qquad \text{si} \quad z \le 10 \tag{6.6a}$$

$$F_{rz}^{'} = 0.702\bar{b}\left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha'} \qquad \text{si} \quad 10 < z \le 200 \tag{6.6b}$$

$$F_{rz}^{'} = 0.702\bar{b}\left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha'} \qquad \text{si} \quad z > \delta \tag{6.6c}$$

donde z (m) es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad media del viento, α' es el exponente de la variación de la velocidad del viento con la altura, depende de la categoría del terreno y corresponde a un intervalo promediado a diez minutos, adimensional, y $\bar{b}$ es un coeficiente, adimensional.

Las variables $\bar{b}$ y α' se obtienen de las tablas del MDOC, Diseño por viento, mostradas en la figura 6.5.

**Tabla 4.4.1 VALORES DE $\bar{b}$ Y α'**

| Categoría del terreno | $\bar{b}$ | α' |
|---|---|---|
| 1 | 1.17 | 0.12 |
| 2 | 1.00 | 0.16 |
| 3 | 0.77 | 0.21 |
| 4 | 0.55 | 0.29 |

a) MDOC 2008

Tabla 4.1 Valores de $\bar{b}$ y $\alpha'$.

| Categoría del terreno | $\bar{b}$ | $\alpha'$ |
|---|---|---|
| 1 | 1.17 | 0.10 |
| 2 | 1.00 | 0.14 |
| 3 | 0.82 | 0.19 |
| 4 | 0.61 | 0.26 |

b) MDOC 2020

Figura 6.5 Valores de $\bar{b}$ y α'.

A continuación, se muestra el cálculo de dicho factor, a una altura de 27.60 m, altura medida del nivel de piso hasta el centro de la cartelera del anuncio con una categoría del terreno de 3.

MDOC 2008

$$F_{rz}^{'} = 0.702 * 0.77 * \left(\frac{27.60}{10}\right)^{0.21} = 0.6689$$

MDOC 2020

$$F_{rz}^{'} = 0.702 * 0.82 * \left(\frac{27.60}{10}\right)^{0.19} = 0.6981$$

### 6.2.8 Velocidad media

El cálculo de la velocidad media (m/s) es mostrado adelante, tomando como valor de 1 al factor de topografía y la velocidad regional es igual a la utilizada para el cálculo de la velocidad básica de diseño.

MDOC 2008

$$V_D^{'} = \frac{1 * 0.6689 * 51.282}{3.6} = 9.528$$

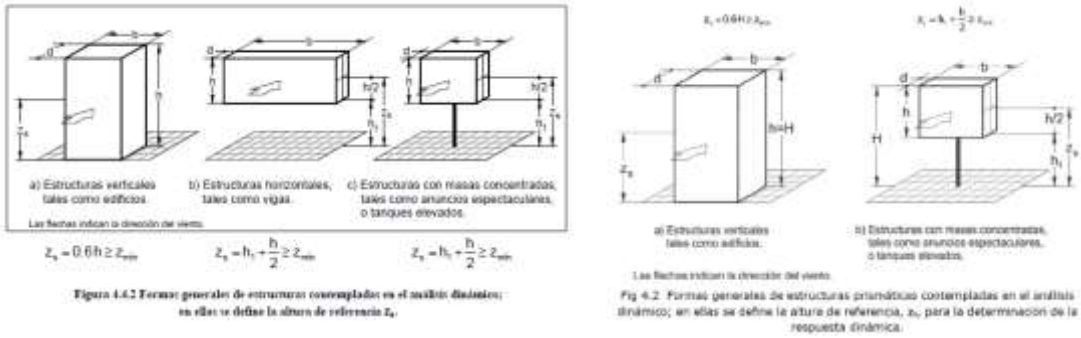
MDOC 2020

$$V_D^{'} = \frac{1 * 0.6981 * 51.282}{3.6} = 9.944$$

### 6.2.9 Cálculo del factor de amplificación dinámica y del factor de respuesta de ráfaga para estructuras prismáticas

Para poder emplear este procedimiento, es necesario que se cumplan las condiciones mostradas a continuación:

1. La respuesta máxima en la dirección del viento está dada por la contribución del modo fundamental de vibrar, por lo que se desprecia la contribución de los modos superiores.
2. La estructura corresponde a una de las formas mostradas en las figuras 4.4.2 y 4.2 de los manuales 2008 y 2020 respectivamente (ver figuras 6.11 y 6.12).




a) MDOC 2008 b) MDOC 2020

Figura 6.6 Formas generales de las estructuras.

Por lo tanto, el factor de amplificación dinámica, FAD, y el factor de respuesta de ráfaga, FRR, se calcularán con las ecuaciones 6.7 y 6.8 respectivamente:

$$F_{AD} = \frac{1 + 2k_p I_v\left(z_s\right)\sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v\left(z_s\right)} \tag{6.7}$$

$$F_{RR} = 1 + 2k_p I_v\left(z_s\right)\sqrt{B^2 + R^2} \tag{6.8}$$

donde $k_p$ es el factor pico, adimensional, $I_v(z_s)$ es el índice de turbulencia, evaluado a la altura de referencia, $z_s$ (m), adimensional, $B^2$ es el factor de respuesta de fondo, adimensional, $R^2$ es el factor de respuesta en resonancia, adimensional, y $z_s$ (m) es la altura de referencia, en m, (ver figura 6.6).

## 6.2.10 Índice de turbulencia

El índice de turbulencia, es la representación de la intensidad del flujo del viento, y se calcula como se muestra a continuación:

$$I_v\left(z_s\right) = \overline{d}\left(\frac{z_s}{10}\right)^{-\alpha'} \qquad z_{mín} \le z_s \le z_{máx} \tag{6.9a}$$

$$I_v\left(z_s\right) = \frac{1}{\ln\left(\frac{z_{mín}}{z_0}\right)} \qquad z_s \le z_{mín} \tag{6.9b}$$

Las variables $z_{mín}$, $z_0$ y $\overline{d}$ se toman de las tablas mostradas en la figura 6.7, por otro lado, $z_{máx}$, es igual a 200 m, mientras que α' se obtiene de la figura 6.5.

Tabla 4.4.2 VALORES DE LAS CONSTANTES $\overline{d}$, $z_0$, $z_{min}$ y $\overline{\alpha}$

| Categoría del terreno | $\overline{d}$ | $z_0$(m) | $z_{min}$(m) | $\overline{\alpha}$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.15 | 0.01 | 1 | 0.44 |
| 2 | 0.19 | 0.05 | 2 | 0.52 |
| 3 | 0.29 | 0.30 | 5 | 0.61 |
| 4 | 0.43 | 1.0 | 10 | 0.67 |

Tabla 4.2 Valores de los parámetros $\overline{d}$, $\overline{\alpha}$, $z_0$, $z_{min}$ y $z_{máx}$.

| Categoría del terreno | $\overline{d}$ | $\overline{\alpha}$ | $z_0$ (m) | $z_{min}$ (m) | $z_{máx}$ (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.12 | 0.44 | 0.001 | 1 | 200 |
| 2 | 0.17 | 0.52 | 0.020 | 2 | 200 |
| 3 | 0.25 | 0.61 | 0.200 | 5 | 200 |
| 4 | 0.39 | 0.67 | 1.000 | 10 | 200 |

a) MDOC 2008 b) MDOC 2020

Figura 6.7 Parámetros constantes MDOC.

Tomando una altura de referencia, $z_s$ de 27.6 m, como se mencionó anteriormente y una categoría del terreno de 3, se calcula el índice de turbulencia.

MDOC 2008

$$I_v\left(z_s\right)=0.29\left(\frac{27.6}{10}\right)^{-0.21}=0.2343$$

MDOC 2020

$$I_v\left(z_s\right)=0.25\left(\frac{27.6}{10}\right)^{-0.19}=0.2061$$

### 6.2.11 Factor de respuesta de fondo y factor de respuesta en resonancia

Los factores de respuesta de fondo y de respuesta en resonancia toman en cuenta la falta de correlación de la presión en las superficies de la estructura y el efecto de la turbulencia del local del viento en resonancia con el modo de vibración de la estructura.

El factor de respuesta de fondo, $B^2$, se calcula de la siguiente manera:

$$B^2=\frac{1}{1+0.9\left(\frac{b+h}{L\left(z_s\right)}\right)^{0.63}} \tag{6.10}$$

donde b (m) es el ancho de la estructura, h (m) es la altura de la estructura, y $L(z_s)$ (m) es la longitud de la escala de turbulencia a la altura de referencia, $z_s$.

La longitud de escala de turbulencia representa el tamaño usual, en promedio, de las ráfagas de viento. Para alturas de referencia, $z_s$ (m), menores que 200 m, y se calcula de la siguiente manera:

$$L\left(z_s\right)=300\left(\frac{z_s}{200}\right)^{\bar{\alpha}} \qquad z_s \geq z_{mín} \tag{6.11a}$$

$$L\left(z_s\right)=300\left(\frac{z_{mín}}{200}\right)^{\bar{\alpha}} \qquad z_s < z_{mín} \tag{6.11b}$$

Para el cálculo de la longitud de escala de turbulencia, los valores de $z_s$ (m), $z_{mín}$ (m) y $\bar{\alpha}$ se obtienen de las tablas de la figura 6.7. Por lo tanto, la longitud de escala de turbulencia es igual a:

MDOC 2008

$$L\left(z_s\right)=300\left(\frac{27.6}{200}\right)^{0.61}=89.6288$$

MDOC 2020

$$L\left(z_s\right)=300\left(\frac{27.6}{200}\right)^{0.61}=89.6288$$

Por lo tanto, para el factor de respuesta de fondo, tenemos una b igual a 12.9 m y h igual a 7.2 m, medidas tipo de los anuncios espectaculares, el cual es igual a:

MDOC 2008

$$B^2=\frac{1}{1+0.9\left(\frac{12.9+7.2}{89.6288}\right)^{0.63}}=0.7402$$

MDOC 2020

$$B^2=\frac{1}{1+0.9\left(\frac{12.9+7.2}{89.6288}\right)^{0.63}}=0.7402$$

El factor de respuesta en resonancia, $R^2$, se determina como se muestra a continuación:

$$R^2 = \frac{\pi}{4\zeta_{t,x}} S_L\left(z_s, n_{1,x}\right) R_h\left(\eta_h\right) R_b\left(\eta_b\right) \tag{6.12}$$

donde $S_L(z_s,n_{1,x})$ es la densidad de potencia del viento, adimensional, $n_{1,x}$ (Hz) es la frecuencia natural de vibración de la estructura en la dirección del viento, $R_h(\eta_h)$ y $R_b(\eta_b)$ son las funciones de admitancia aerodinámica, adimensionales, y $\zeta_{t,x}$ es la relación de amortiguamiento total, adimensional:

La densidad de potencia describe la distribución de la turbulencia del viento en un sitio con respecto a intervalos de frecuencias, y se determina usando la siguiente expresión:

$$S_L\left(z_s, n_{1,x}\right) = \frac{6.8\left(\dfrac{n_{1,x} L\left(z_s\right)}{V_D^{'}\left(z_s\right)}\right)}{\left[1+10.2\left(\dfrac{n_{1,x} L\left(z_s\right)}{V_D^{'}\left(z_s\right)}\right)\right]^{5/3}} \tag{6.13}$$

Utilizando la velocidad media evaluada a la altura de referencia $z_s$ (m), y la longitud de la escala de turbulencia calculadas con anterioridad y para una frecuencia natural de vibración de 0.95134 Hz, tenemos que:

MDOC 2008

$$S_L\left(z_s, n_{1,x}\right) = \frac{6.8\left(\dfrac{0.95134*89.6288}{9.528}\right)}{\left[1+10.2\left(\dfrac{0.95134*89.6288}{9.528}\right)\right]^{5/3}} = 0.0323$$

MDOC 2020

$$S_L\left(z_s, n_{1,x}\right) = \frac{6.8\left(\dfrac{0.95134*89.6288}{9.944}\right)}{\left[1+10.2\left(\dfrac{0.95134*89.6288}{9.944}\right)\right]^{5/3}} = 0.0332$$

Las funciones de admitancia aerodinámica $R_h$ y $R_b$ consideran que las fluctuaciones de la velocidad no ocurren simultáneamente sobres las superficies de barlovento y sotavento, así como su correlación sobre estas áreas.

La función $R_h$, para la forma modal fundamental, se determina de la siguiente manera:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2}\left(1-e^{-2\eta_h}\right) \qquad R_h=1 \text{ para } \eta_h=0 \tag{6.14}$$

En donde:

$$\eta_h = \frac{4.6hn_{1,x}}{V_D^{'}\left(z_s\right)}$$

Mientras que, $R_b$, para la forma modal fundamental, se determina como:

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2}\left(1 - e^{-2\eta_b}\right) \qquad R_b=1 \text{ para } \eta_b=0 \tag{6.15}$$

En donde:

$$\eta_b = \frac{4.6bn_{1,x}}{V_D^{'}\left(z_s\right)}$$

Por lo tanto, tenemos que:

MDOC 2008

$$\eta_h = \frac{4.6*7.2*0.95134}{9.528} = 3.306$$

MDOC 2020

$$\eta_h = \frac{4.6*7.2*0.95134}{9.944} = 3.168$$

MDOC 2008

$$\eta_b = \frac{4.6*12.9*0.95134}{9.528} = 5.925$$

MDOC 2020

$$\eta_b = \frac{4.6*12.9*0.95134}{9.944} = 5.677$$

De este modo, las funciones de admitancia aerodinámica son iguales a:

MDOC 2008

$$R_h = \frac{1}{3.306} - \frac{1}{2\left(3.306\right)^2}\left(1 - e^{-2*3.306}\right) = 0.2568$$

MDOC 2020

$$R_h = \frac{1}{3.168} - \frac{1}{2\left(3.168\right)^2}\left(1 - e^{-2*3.168}\right) = 0.2659$$

MDOC 2008

$$R_b = \frac{1}{5.925} - \frac{1}{2\left(5.925\right)^2}\left(1 - e^{-2*5.925}\right) = 0.1545$$

MDOC 2020

$$R_b = \frac{1}{5.677} - \frac{1}{2\left(5.677\right)^2}\left(1 - e^{-2*5.677}\right) = 0.1606$$

La relación de amortiguamiento total, $\zeta_{t,x}$, está dada por tres componente debidas al amortiguamiento estructural, al aerodinámico y al asociado con dispositivos especiales de amortiguamiento.

$$\zeta_{t,x} = \zeta_{est,x} + \zeta_{a,x} + \zeta_{d,x} \tag{6.16}$$

donde $\zeta_{est,x}$ es la relación de amortiguamiento estructural, adimensional, $\zeta_{a,x}$ es la relación de amortiguamiento aerodinámico, adimensional, y $\zeta_{d,x}$ es la relación de amortiguamiento debido a mecanismos especiales de amortiguamiento, adimensional.

A continuación, se muestran algunos valores que facilitan ambas versiones del manual, tanto 2008 como 2020, para la relación de amortiguamiento estructural.

**Tabla 4.4.3 VALORES REPRESENTATIVOS DE RELACIÓN DE AMORTIGUAMIENTO ESTRUCTURAL**

| Tipo de estructura | $\zeta_{MDOC}$ |
|---|---|
| Edificios de concreto reforzado y presforzado | 0.015 |
| Edificios de acero | 0.010 |
| Estructuras mixtas de concreto y acero | 0.013 |
| Chimeneas y torres de concreto reforzado | 0.01 |
| Chimeneas de acero soldadas y sin recubrimientos | 0.002 |
| Chimeneas de acero soldadas con recubrimiento | 0.005 |
| Chimeneas de acero con recubrimiento de refractarios | 0.01 |
| Torres de celosía soldadas | 0.003 |
| Torres de celosía atornilladas | 0.005 |

Figura 6.8 Valores representativos de la relación de amortiguamiento estructural (MDOC 2008).

Tabla 4.3 Valores representativos de relación de amortiguamiento estructural.

| Tipo de estructura | $\zeta_{MDOC}$ |
|---|---|
| Edificios de concreto reforzado y presforzado | 0.016 |
| Edificios de acero | 0.008 |
| Estructuras mixtas de concreto y acero | 0.013 |
| Chimeneas y torres de concreto reforzado | 0.010 |
| Chimeneas de acero soldadas, sin recubrimientos: | |
| sin aislamiento térmico exterior | 0.002 |
| con aislamiento térmico exterior | 0.003 |
| Chimeneas de acero soldadas, con recubrimientos: | |
| con una capa de recubrimiento y aislamiento térmico exterior | 0.002 - 0.006 |
| con dos o más capas de recubrimiento y aislamiento térmico exterior | 0.003 - 0.006 |
| Chimeneas de acero con recubrimiento interior de tabiques | 0.011 |
| Chimeneas de acero con recubrimiento interior de concreto lanzado | 0.005 |
| Torres de celosía soldadas | 0.003 |
| Torres de celosía atornilladas: | |
| tornillos de alta resistencia | 0.005 |
| tornillos de baja resistencia | 0.008 |
| Estructuras de soporte de aerogeneradores: | |
| cilíndricas o prismáticas de concreto | 0.006 |
| cilíndricas o prismáticas de acero | 0.002 |

Figura 6.9 Valores representativos de relación de amortiguamiento estructural (MDOC 2020).

Por lo tanto, para el factor de respuesta en resonancia, tenemos un amortiguamiento estructural de 0.002, entonces:

MDOC 2008

$$R^2 = \frac{\pi}{4*0.002}*0.0323*0.2568*0.1545 = 0.503$$

MDOC 2020

$$R^2 = \frac{\pi}{4*0.002}*0.0332*0.2659*0.1606 = 0.5567$$

### 6.2.12 Factor pico

El factor pico, $k_p$, se define como la relación del valor máximo de las fluctuaciones de la respuesta entre su desviación estándar; depende de un intervalo de tiempo T, de 600 segundos, con el que se calcula la respuesta máxima, y del intervalo de frecuencias de esta respuesta.

Cuando la respuesta en la dirección del viento se asocia con una distribución de probabilidades de tipo Gaussiana, el factor pico, adimensional se expresa como:

$$k_p = \sqrt{2\ln(600v)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(600v)}} \geq 3 \tag{6.17}$$

Donde v (Hz) es la frecuencia de cruces por cero o tasa media de oscilaciones.

La frecuencia de cruces por cero, v, se obtiene con la siguiente ecuación:

$$v = n_{1,x}\sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0.08 \tag{6.18}$$

Por lo tanto, la frecuencia de cruces por cero es igual a:

MDOC 2008

$$v = 0.95134\sqrt{\frac{0.503}{0.7402 + 0.503}} = 0.605$$

MDOC 2020

$$v = 0.95134\sqrt{\frac{0.5567}{0.7402 + 0.5567}} = 0.623$$

Mientras que el factor pico es igual a:

MDOC 2008

$$k_p = \sqrt{2\ln(600*0.605)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(600*0.605)}} = 3.6082$$

MDOC 2020

$$k_p = \sqrt{2\ln(600*0.623)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(600*0.623)}} = 3.616$$

### 6.2.13 Factor de amplificación dinámica y factor de respuesta de ráfaga

Con el cálculo del factor pico, los factores de respuesta de fondo y de respuesta en resonancia, así como el índice de turbulencia, tenemos los datos necesarios para obtener el factor de amplificación dinámica y el factor de respuesta de ráfaga, por lo tanto, tenemos que dichos factores son igual a:

MDOC 2008

$$F_{AD} = \frac{1 + 2*3.6082*0.2343\sqrt{0.7402 + 0.503}}{1 + 7*0.2343} = 1.093$$

MDOC 2020

$$F_{RR} = 1 + 2*3.616*0.2061\sqrt{0.7402 + 0.5567} = 2.697$$

### 6.2.14 Cálculo de la fuerza estática equivalente, $F_{eq}$, en la dirección del viento para estructuras prismáticas y cilíndricas

La fuerza dinámica equivalente, $F_{eq}$ (kg), se obtiene, para una altura sobre el nivel del terreno, z (m), para las versiones 2008 y 2020 del MDOC, Diseño por viento, se calculan con las expresiones 6.19 y 6.20 respectivamente:

$$F_{eq}(z) = p_n A_{\exp} F_{AD} \tag{6.19}$$

$$F_{eq}(z) = \frac{p_n A_{\exp} F_{RR}}{1 + 7 I_v(z_s)} \tag{6.20}$$

donde $p_n$ (kg/m2) es la presión neta, depende del tipo de estructura.

La presión actuante se calcula con la siguiente expresión la cual se utiliza para letreros rectangulares.

$$p_n = c_{pn} K_p q_z \tag{6.21}$$

donde $C_{pn}$ es el coeficiente de presión neta actuando normal a la superficie del muro o letrero, adimensional, $K_p$ es el factor de reducción de presión por porosidad, adimensional; este factor está dado por: $(1-(1-\phi)^2)$, en donde $\phi$ es la relación de solidez del letrero o muro y $q_z$ (kg/m$^2$) es la presión dinámica de base, calculada con anterioridad.

**Tabla 4.3.16(a) COEFICIENTE DE PRESIÓN NETA, $C_{pn}$, PARA LETREROS Y MUROS AISLADOS, θ = 0°**

| b/h | h/H | $C_{pn}$ | e |
|---|---|---|---|
| 0.5 a 5.0 | 0.2 a 1.0 | 1.3 + 0.5 [0.3 + $\log_{10}$(b/h)] (0.8 - h/H) | 0.0 |
| > 5.0 | | La expresión anterior para b/h = 5.0 | 0.0 |
| Cualquiera | < 0.2 | 1.3 + 0.3 [0.3 + $\log_{10}$(b/h)] | 0.0 |

Figura 6.10 Coeficiente de presión neta, $C_{pn}$, para letreros y muros aislados, θ=0° (MDOC 2008).

Tabla 3.18(a) Coeficiente de presión neta, $C_{pn}$, para letreros y muros aislados. Dirección del viento θ = 0°.

| b/h | h/H | Coeficiente de presión neta ($C_{pn}$) | e |
|---|---|---|---|
| 0.5 a 5.0 | 0.2 a 1.0 | 1.30 + 0.50 [0.30 + $\log_{10}$(b/h)] (0.80 - h/H) | 0.00 |
| > 5.0 | | 1.70 - 0.50 h/H | 0.00 |
| Cualquiera | < 0.2 | 1.40 + 0.30·$\log_{10}$(b/h) | 0.00 |

Figura 6.11 Coeficiente de presión neta, $C_{pn}$, para letreros y muros aislados, θ=0° (MDOC 2020).

Entonces, para obtener el coeficiente de presión neta tenemos el siguiente proceso:

$$\frac{b}{h} = \frac{12.9}{7.2} = 1.7917$$

$$\frac{h}{H} = \frac{7.2}{31.2} = 0.2308$$

MDOC 2008

$$c_{pn} = 1.3 + 0.5\left[0.3 + \log_{10}(1.7917)\right](0.8 - 0.2308) = 1.4575$$

MDOC 2020

$$c_{pn} = 1.3 + 0.5\left[0.3 + \log_{10}(1.7917)\right](0.8 - 0.2308) = 1.4575$$

Por lo tanto, y teniendo un factor de reducción por porosidad igual a 1 ya que no se cuenta con huecos en el área total del letrero, la presión neta, en kg/m$^2$, es igual a:

MDOC 2008

$$p_n = 1.4575*1*13.286 = 19.364$$

MDOC 2020

$$p_n = 1.4575*1*12.187 = 17.762$$

### 6.2.15 Fuerza estática equivalente

Con el coeficiente de presión neta calculado y con un área de exposición igual a 92.88 m$^2$, la cual corresponde a las dimensiones tipo mencionadas anteriormente los cuales son 12.9 m de base y 7.2 m de altura. Además, de los valores calculados en pasados incisos tenemos que la fuerza estática equivalente, en kg, es:

MDOC 2008

$$F_{eq}(z) = 19.364*92.88*1.093 = 1965.8$$

MDOC 2020

$$F_{eq}(z) = \frac{17.762*92.88*2.697}{1+7*0.2061} = 1821.5$$

## 6.3 PROCEDIMIENTO DEL CÓDIGO EUROPEO EN-1991

### 6.3.1 Cálculo de la velocidad básica del viento

El cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento se llevará a cabo con el procedimiento descrito en el código europeo EN-1991-4. Comenzando con el cálculo de la velocidad básica del viento ($v_b$). La velocidad básica del viento, en m/s, la cual es la velocidad básica fundamental del viento modificada para tomar en cuenta la dirección del viento a considerar y, en caso de ser necesario, la estación del año, a partir de esta velocidad se calculan los efectos del viento sobre la estructura y se obtendrá con la ecuación:

$$v_b = c_{prob} c_{dir} c_{season} v_{b,0} \tag{6.22}$$

Donde $c_{dir}$ es el factor direccional para diferentes direcciones del viento, adimensional y el código europeo lo recomienda igual a 1, $c_{season}$ es el factor estacional, adimensional y el código europeo lo recomienda igual a 1, $v_{b,0}$ (m/s) es la velocidad media del viento con un promediada a 10 min, para efectos de este ejemplo se tomará igual a 10, de la misma manera que los ejemplos del MDOC en sus dos versiones, y $c_{prob}$ es el factor que representa la probabilidad anual que tiene la velocidad media de ser superada y está dada por la siguiente ecuación.

$$c_{prob} = \left( \frac{1 - K \ln\left(-\ln\left(1-p\right)\right)}{1 - K \ln\left(-\ln\left(0.98\right)\right)} \right)^n \tag{6.23}$$

donde K es el parámetro de forma que depende del coeficiente de variación de la distribución de los valores extremos considerada, adimensional y el código europeo lo recomienda igual a 0.2, n es el exponente, adimensional y el código europeo lo recomienda igual a 0.5, y p es la probabilidad anual de que la velocidad media sea excedida, adimensional y el código europeo lo recomienda igual a 0.02.

Por lo que el factor de probabilidad y la velocidad básica del viento son:

$$c_{prob} = \left( \frac{1 - 0.2 * \ln\left(-\ln\left(1 - 0.02\right)\right)}{1 - 0.2 * \ln\left(-\ln\left(0.98\right)\right)} \right)^{0.5} = 1$$

$$v_b = 1*1*1*10 = 10$$

### 6.3.2 Cálculo de la velocidad media del viento

La velocidad media del viento $v_m$ (m/s), se calcula a una altura, z (m), para este ejemplo, dicha altura se toma de 27.6 m.

En el análisis se toma en cuenta tanto la topografía como la rugosidad, la cual representa la exposición de la estructura en el lugar donde se encuentra, debido a esto se categoriza el terreno dependiendo de la topografía y las obstrucciones que existan en la zona. La figura 6.12 muestra la categoría del terreno según su rugosidad en el código europeo EN-1991, para la demostración de los mismos se tomará una categoría de terreno III para áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes).

**Tabla 4.1**
**Categorías de terrenos y parámetros del terreno**

| Categoría de terreno | | $z_0$ m | $z_{min}$ m |
|---|---|---|---|
| 0 | Mar abierto o zona costera expuesta al mar abierto | 0,003 | 1 |
| I | Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos | 0,01 | 1 |
| II | Áreas con vegetación baja, como hierba, y obstáculos aislados (árboles, edificaciones) con separaciones de al menos 20 veces la altura de los obstáculos | 0,05 | 2 |
| III | Áreas con una cobertura de vegetación uniforme o edificaciones o con obstáculos aislados con una separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos (villas, terreno suburbano, bosques permanentes) | 0,3 | 5 |
| IV | Áreas en las que al menos un 15% de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m | 1,0 | 10 |
| NOTA – Las categorías de terrenos se ilustran en el capítulo A.1. | | | |

Figura 6.12 Categorías de terrenos y parámetros del terreno (EN-1991).

### 6.3.3 Cálculo del factor de rugosidad, cr

El factor de rugosidad, representa el cómo la velocidad del viento va variando con la altura y la rugosidad del terreno. Las ecuaciones 6.30, 6.31 y 6.32 muestran la manera de obtener este factor según su variación con la altura.

$$c_r\left(z\right) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{para } z_{mín} \le z \le z_{máx} \tag{6.24a}$$

$$c_r\left(z\right) = c_r\left(z_{mín}\right) \quad \text{para } z \le z_{mín} \tag{6.24b}$$

$$k_r = 0.19\left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} \tag{6.25}$$

donde $z_0$ (m) es la longitud de la rugosidad, $k_r$ (adimensional), es el factor del terreno, depende de la longitud de la rugosidad y está dado por la ecuación 6.25, $z_{0,II}$ (m) es igual a 0.05 m ($z_0$ para categoría de terreno II), $z_{mín}$ (m) es la altura mínima, definida en la figura 6.12, en m, y $z_{máx}$ (m) es la altura máxima, y se toma igual a 200 m.

A continuación, se muestra el cálculo de dicho factor, a una altura de 27.60 m, altura medida del nivel de piso hasta el centro de la cartelera del anuncio con una categoría del terreno de III.

$$k_r = 0.19\left(\frac{0.3}{0.05}\right)^{0.07} = 0.2154$$

$$c_r(z) = 0.2154 * \ln\left(\frac{27.6}{0.3}\right) = 0.9739$$

### 6.3.4 Velocidad media del viento

La velocidad media del viento promediada a 10 minutos es dada por los anexos nacionales correspondientes a cada zona dentro de la unión europea, pero para efecto de esta revisión se utilizaron velocidades medias evaluadas a 10 minutos las cuales van de 5 m/s en incrementos de 5 m/s hasta llegar a 40 m/s. Para este ejemplo se usará una velocidad media de 10 m/s. A continuación, se muestra el cálculo de la velocidad media del viento, en m/s.

$$v_m(z) = c_r(z)\, c_o(z)\, v_b \tag{6.26}$$

donde $c_r$ es el factor de rugosidad, adimensional, $c_o$ es coeficiente topográfico, adimensional, y se toma igual a 1, y $v_b$ (m/s) es la velocidad básica del viento.

Por lo que tenemos una velocidad media del viento (m/s) igual a:

$$v_m(z) = 0.9739 * 1 * 10 = 9.74$$

### 6.3.5 Intensidad de la turbulencia

La intensidad de la turbulencia, es la representación de la intensidad del flujo del viento, y se calcula como se muestra a continuación:

$$I_V(z) = \frac{k_1}{c_o(z)\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \qquad z_{mín} \le z \le z_{máx} \tag{6.27a}$$

$$I_v(z) = I_v(z_{mín}) \qquad z \le z_{mín} \tag{6.27b}$$

donde $k_1$ es el factor de turbulencia, adimensional, se recomienda que sea igual a 1; $c_o$ (adimensional) es el coeficiente topográfico, que se toma igual a 1, y $z_0$ (m) es la longitud de la rugosidad.

Entonces la intensidad de turbulencia es igual a:

$$I_V(z) = \frac{1}{1*\ln\left(\frac{27.6}{0.3}\right)} = 0.22115$$

### 6.3.6 Cálculo de la presión correspondiente a la velocidad pico

La presión correspondiente a la velocidad pico, $q_p$ (Pa), incluye la velocidad media del viento y la fluctuación a corto plazo de la velocidad del viento y se determina de la siguiente manera:

$$q_p = \left[1 + 7I_v(z)\right] * \frac{1}{2}\rho v_m^2(z) \tag{6.28}$$

donde ρ (kg/m$^3$) es la densidad del aire, la cual depende de la altitud, temperatura y presión barométrica, el código europeo recomienda el valor de 1.25 kg/m$^3$.

Con el valor de la intensidad de la turbulencia, además del valor de la media del viento calculados con anterioridad tenemos que la presión correspondiente a la velocidad pico, en Pa, es igual:

$$q_p = \left[1 + 7*0.22115\right] * \frac{1}{2} * 1.25 * (9.74)^2 = 151.08$$

### 6.3.7 Cálculo del factor estructural

El factor estructural es utilizado para tomar en cuenta la ocurrencia de los picos de presión del viento sobre la superficie (cs), además del efecto de las vibraciones ocasionadas por la turbulencia (cd).
Por lo tanto, el factor estructural se calculará con la expresión 6.29:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2k_p I_v(z_s)\sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \tag{6.29}$$

donde $k_p$ es el factor pico, adimensional, $I_v$ es la intensidad de la turbulencia, evaluado a la altura de referencia, $z_s$, adimensional, $B^2$ es el factor de respuesta de fondo, adimensional, $R^2$ es el factor de respuesta en resonancia, adimensional, y $z_s$ (m) es la altura de referencia.

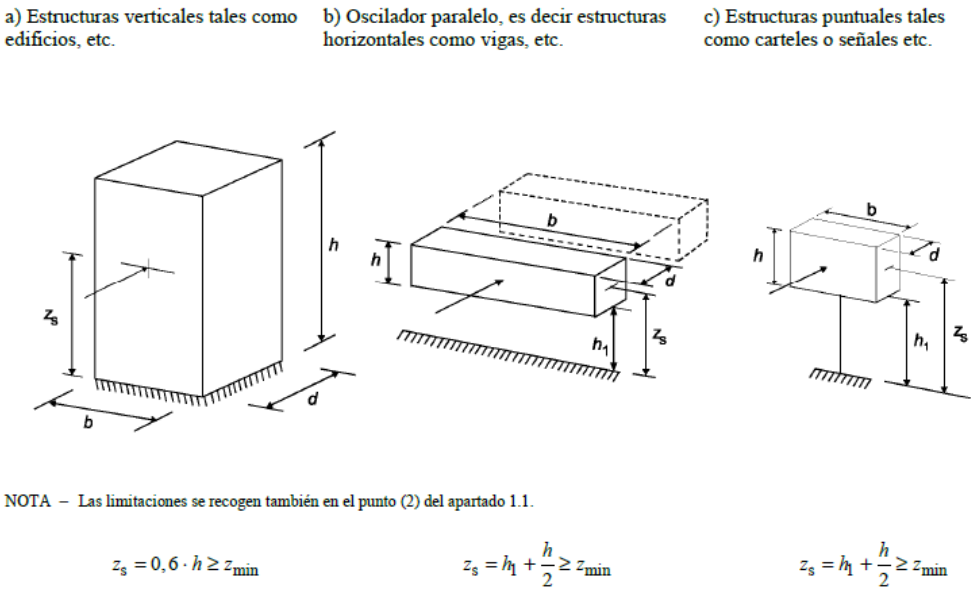



Figura 6.13 Formas generales de estructuras (EN-1991).

### 6.3.8 Factor de respuesta de fondo y factor de respuesta en resonancia

Los factores de respuesta de fondo y de respuesta en resonancia toman en cuenta la falta de correlación de la presión en las superficies de la estructura y el efecto de la turbulencia del local del viento en resonancia con el modo de vibración de la estructura.

El factor de respuesta de fondo, $B^2$, se calcula con:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9\left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0.63}} \tag{6.30}$$

donde b (m) es el ancho de la estructura, h (m) es la altura de la estructura, y $L(z_s)$ (m) es la escala integral de la longitud de turbulencia a una altura de referencia, $z_s$ (m).

La escala integral de la longitud de turbulencia representa el tamaño promedio de las ráfagas de viento. Para alturas de referencia, $z_s$, menores que 200 m, y se calcula de la siguiente manera:

$$L(z) = L_t\left(\frac{z_s}{z_t}\right)^{\alpha} \qquad z \geq z_{mín} \tag{6.31a}$$

$$L(z) = L(z_{mín}) \qquad z < z_{mín} \tag{6.31b}$$

$$\alpha = 0.67 + 0.05\ln(z_0) \tag{6.32}$$

Para el cálculo de la escala integral de la longitud de turbulencia, los valores de $z_t$ y $L_t$ son 200 m y 300 m respectivamente. Por lo tanto, la longitud de escala de turbulencia en (m) es igual a:

$$\alpha = 0.67 + 0.05\ln(0.3) = 0.6098$$

$$L(z) = 300\left(\frac{27.6}{200}\right)^{0.6098} = 89.664$$

Por lo tanto, para el factor de respuesta de fondo, tenemos una b igual a 12.9 m y h igual a 7.2 m, medidas tipo de los anuncios espectaculares, el cual es igual a:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.9\left(\frac{12.9 + 7.2}{89.664}\right)^{0.63}} = 0.74028$$

El factor de respuesta en resonancia, $R^2$, se determina como se muestra a continuación:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2\delta} S_L(z_s, n_{1,x}) R_h(\eta_h) R_b(\eta_b) \tag{6.33}$$

donde $S_L(z_s,n_{1,x})$ es la función de densidad espectral de potencia, adimensional, $n_{1,x}$ (Hz) es la frecuencia natural de vibración de la estructura en la dirección del viento, $R_h(\eta_h)$ y $R_b(\eta_b)$ son las funciones de admitancia aerodinámica, adimensionales, y $\delta$ es el decremento logarítmico total del amortiguamiento, adimensional.

La función de densidad espectral de potencia describe la distribución de la turbulencia del viento en un sitio con respecto a intervalos de frecuencias, y se determina usando la siguiente expresión:

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6.8 f_L(z,n)}{\left[1 + 10.2 f_L(z,n)\right]^{5/3}} \tag{6.34}$$

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{n_{1,x} L(z_s)}{v_m(z_s)} \tag{6.35}$$

Utilizando la velocidad media del viento evaluada a la altura de referencia $z_s$ (m), y la escala integral de la longitud de turbulencia calculadas con anterioridad y sustituyendo $f_L$ para una frecuencia natural de vibración de 0.95134 Hz, tenemos que:

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{0.95134 * 89.664}{9.74} = 8.758$$

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6.8 * 8.758}{\left[1 + 10.2 * 8.758\right]^{5/3}} = 0.0327$$

Las funciones de admitancia aerodinámica $R_h$ y $R_b$ para una forma modal fundamental se determinan como se muestra a continuación.

La función $R_h$, para la forma modal fundamental, se determina de la siguiente manera:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2}\left(1 - e^{-2\eta_h}\right) \qquad R_h=1 \text{ para } \eta_h=0 \tag{6.36}$$

En donde:

$$\eta_h = \frac{4.6h}{L\left(z_s\right)} f_L\left(z_s, n_{1,x}\right)$$

Mientras que, $R_b$, para la forma modal fundamental, se determina como:

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2}\left(1 - e^{-2\eta_b}\right) \qquad R_b=1 \text{ para } \eta_b=0 \tag{6.37}$$

En donde:

$$\eta_b = \frac{4.6b}{L\left(z_s\right)} f_L\left(z_s, n_{1,x}\right)$$

Por lo tanto, tenemos que:

$$\eta_h = \frac{4.6*7.2}{89.664}*8.758 = 3.235 \qquad \eta_b = \frac{4.6*12.9}{89.664}*8.758 = 5.796$$

De este modo, las funciones de admitancia aerodinámica son iguales a:

$$R_h = \frac{1}{3.235} - \frac{1}{2\left(3.235\right)^2}\left(1 - e^{-2*3.235}\right) = 0.2614$$

$$R_b = \frac{1}{5.796} - \frac{1}{2\left(5.796\right)^2}\left(1 - e^{-2*5.796}\right) = 0.0.1576$$

El decremento logarítmico del amortiguamiento, $\delta$, está dada por tres componentes como se muestra a continuación.

$$\delta = \delta_s + \delta_a + \delta_d \tag{6.38}$$

donde $\delta_s$ es el decremento logarítmico del amortiguamiento estructural, adimensional, $\delta_a$ es el decremento logarítmico del amortiguamiento aerodinámico, adimensional, y $\delta_d$ es el decremento logarítmico del amortiguamiento debido a mecanismos especiales de amortiguamiento, adimensional.

A continuación, se muestran algunos valores que facilitan para la relación del decremento logarítmico del amortiguamiento estructural.

**Tabla F.2**
**Valores aproximados del decremento logarítmico del amortiguamiento estructural para la forma modal fundamental, $\delta_s$**

| Tipo de estructura | | Amortiguamiento estructural, $\delta_s$ |
|---|---|---|
| Edificios de hormigón armado | | 0,10 |
| Edificios de acero | | 0,05 |
| Estructuras mixtas: acero + hormigón | | 0,08 |
| Torres y chimeneas de hormigón armado | | 0,03 |
| Pilas de acero estructural soldadas no alineadas sin aislamiento térmico exterior | | 0,012 |
| Pilas de acero estructural soldadas no alineadas con aislamiento térmico exterior | | 0,020 |
| Pila de acero con una camisa de rigidización y aislamiento térmico exterior[a] | $h/b < 18$ | 0,020 |
| | $20 \leq h/b < 24$ | 0,040 |
| | $h/b \geq 26$ | 0,014 |
| Pila de acero con dos o más camisas de rigidización y aislamiento térmico exterior [a] | $h/b < 18$ | 0,020 |
| | $20 \leq h/b < 24$ | 0,040 |
| | $h/b \geq 26$ | 0,025 |
| Pilas de acero con camisa interior enladrillada | | 0,070 |
| Pilas de acero gunitadas interiormente | | 0,030 |
| Pilas arriostradas sin camisas de rigidización interiores | | 0,015 |
| Pilas de acero atirantadas sin camisa de rigidización interior | | 0,04 |
| Puentes de acero + torres de celosía metálica | Soldados | 0,02 |
| | Tornillos de alta resistencia | 0,03 |
| | Tornillos ordinarios | 0,05 |
| Puentes mixtos | | 0,04 |
| Puentes de hormigón | Pretensados y no fisurados | 0,04 |
| | Fisurados | 0,10 |
| Puentes de madera | | 0,06 – 0,12 |
| Puentes de aleaciones de aluminio | | 0,02 |
| Puentes de fibra de vidrio o carbono | | 0,04 – 0,08 |
| Cables | Cables en paralelo | 0,006 |
| | Cables en espiral | 0,020 |

NOTA 1 – Los valores de puentes de madera y fibra de carbono o vidrio únicamente son indicativos. En aquellos casos en los que los efectos aerodinámicos puedan ser significativos en el diseño, se necesita un análisis especial para la determinación de los valores adecuados (sujeto a acuerdo con la autoridad competente si fuera apropiado).

NOTA 2 – En puentes atirantados o colgados es necesario que los valores mostrados en la tabla F.2 se multipliquen por un factor 0,75.

[a] Para valores intermedios de $h/b$, se puede emplear la interpolación lineal

Figura 6.14 Valores aproximados del decremento logarítmico del amortiguamiento estructural (EN-1991).

Por lo tanto, para el factor de respuesta en resonancia, tenemos un decremento logarítmico del amortiguamiento estructural de 0.012, entonces:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2*0.012}*0.0327*0.2614*0.1576 = 0.554$$

### 6.3.9 Factor pico

El factor pico, $k_p$, se define como la relación del valor máximo de las fluctuaciones de la respuesta entre su desviación estándar; depende de un intervalo de tiempo T, de 600 segundos, con el que se calcula la respuesta máxima, y del intervalo de frecuencias de esta respuesta.

El factor pico, adimensional, se expresa como:

$$k_p = \sqrt{2\ln(vT)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln(vT)}} \geq 3 \qquad (6.39)$$

donde v (Hz) es la frecuencia media de oscilación.

La frecuencia media de oscilación, v, se obtiene con la ecuación siguiente:

$$v = n_{1,x}\sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \geq 0.08 \tag{6.40}$$

Por lo tanto, la frecuencia media de oscilación es igual a:

$$v = 0.95134\sqrt{\frac{0.554}{0.74028 + 0.554}} = 0.6224$$

Mientras que el factor pico es igual a:

$$k_p = \sqrt{2\ln\left(0.6224*600\right)} + \frac{0.6}{\sqrt{2\ln\left(0.6224*600\right)}} = 3.616$$

### 6.3.10 Factor estructural

Con el cálculo del factor pico, los factores de respuesta de fondo y de respuesta en resonancia, así como la intensidad de la turbulencia, tenemos los datos necesarios para obtener el factor estructural, el cual es igual a:

$$c_s c_d = \frac{1 + 2*3.616*0.22115*\sqrt{0.74028 + 0.554}}{1 + 7*0.22115} = 1.106$$

### 6.3.11 Cálculo de la fuerza estática equivalente, $F_w$, en la dirección del viento para estructuras prismáticas y cilíndricas

La fuerza del viento, $F_w$, en N, se obtiene, para una altura sobre el nivel del terreno, z, en m, con la expresión 6.41:

$$F_w = c_s c_d c_f q_p A_{ref} \tag{6.41}$$

donde $c_f$ es el coeficiente de fuerza, para el elemento estructural, igual a 1.8 para este caso de estudio, y $A_{ref}$ ($m^2$) es el área de exposición.

Con un área de exposición igual a 92.88 $m^2$, la cual corresponde a las dimensiones tipo mencionadas anteriormente los cuales son 12.9 m de base y 7.2 m de altura. Además, de los valores calculados en pasados incisos tenemos que la fuerza del viento, en N, es:

$$F_w = 1.106*1.8*151.08*92.88 = 27935.52$$

## 6.4 PROCEDIMIENTO DEL MANUAL ASCE

### 6.4.1 Cálculo de la velocidad de diseño

El cálculo de las fuerzas debidas a la acción del viento se llevará a cabo con el procedimiento descrito en el manual ASCE, dicho procedimiento es adaptado y es descrito en el capítulo 4 de este documento.

Comenzando con el cálculo de la velocidad del viento, $v_D$ (m/s).

La velocidad del viento, en m/s, se obtendrá con la ecuación:

$$v_{D_{ASCE}} = F_T F_{rz_{ASCE}} V_{R_{3s}} \tag{6.40}$$

donde $F_T$ es el factor que depende de la topografía, adimensional y que será tomado igual a 1 en el ejemplo, $F_{rzASCE}$ el factor que toma en cuenta el efecto de las características de exposición local, adimensional, y $V_{R3S}$ (m/s) la velocidad regional de ráfaga que le corresponde al sitio en donde se construirá la estructura promediada a 3 segundos.

En el análisis se toma en cuenta tanto la topografía como la exposición en el sitio donde se encuentre la estructura, debido a esto se categoriza el terreno dependiendo de la topografía y las obstrucciones que existan en la zona. La tabla 6.1 muestra la categoría del terreno según su rugosidad para el manual ASCE, para la demostración de este ejemplo tomará una categoría de terreno B la cual corresponde a la categoría 3 de los manuales anteriormente descritos.

Tabla 6.1 Rugosidad en el manual ASCE.

| Exposición |
|---|
| B: Edificios u otras estructuras con altura media de su parte superior menor o igual a 9.1m. Debe aplicarse en donde el terreno tiene rugosidad B, es decir, áreas urbanas o suburbanas con numeras obstrucciones. |
| C: Terreno abierto con obstrucciones con alturas menores a 9m, en terreno plano, suburbano o zonas montañas con hielo. |
| D: Terreno plano, sin obstrucciones y superficies con agua |

### 6.4.2 Cálculo del factor de exposición

El factor de exposición local, representa el cómo la velocidad del viento va variando con la altura. EN 6.41podemos ver la manera de obtener este factor según su variación con la altura para el manual ASCE.

| | |
|---|---|
| $F_{rz_{ASCE}} = c \qquad \text{si } z \leq 4.6$ | (6.41a) |
| $F_{rz_{ASCE}} = c\left(\frac{z}{15}\right)^{\alpha} \qquad \text{si } 4.6 < z < \delta$ | (6.41b) |

donde z (m) es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad de diseño, α es el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura, adimensional, δ (m) es la altura gradiente; y c es el coeficiente de escala de rugosidad, adimensional.

Las variables α, δ, y c, se obtienen de la tabla 6.2 de este documento.

Tabla 6.2 Coeficiente de variación de la velocidad con la altura y altura gradiente (adaptado del ASCE 7-16)

| Exposición | c | α | δ (m) |
|---|---|---|---|
| B: Edificios u otras estructuras con altura media de su parte superior menor o igual a 9.1 m. Debe aplicarse en donde el terreno tiene rugosidad B, es decir, áreas urbanas o suburbanas con numeras obstrucciones. | 0.8994 | 0.143 | 365.76 |
| C: Terreno abierto con obstrucciones con alturas menores a 9m, en terreno plano, suburbano o zonas montañas con hielo. | 1.046 | 0.105 | 274.32 |
| D: Terreno plano, sin obstrucciones y superficies con agua | 1.1192 | 0.087 | 231.36 |

A continuación, se muestra el cálculo de dicho factor, a una altura de 27.60 m, altura medida del nivel de piso hasta el centro de la cartelera del anuncio con una categoría del terreno B.

$$F_{rz_{ASCE}} = 0.8994\left(\frac{27.6}{15}\right)^{0.143} = 0.9813$$

### 6.4.3 Velocidad de diseño

La velocidad regional es dada cada manual, pero para efecto de esta revisión se utilizaron velocidades medias evaluadas a 10 minutos las cuales van de 5 m/s en incrementos de 5 m/s hasta llegar a 40 m/s. Para este ejemplo se usará una velocidad media de 10 m/s, cabe mencionar que se realizó una conversión de la velocidad ya que las velocidades en este manual son promediadas a 3 segundos. A continuación, se muestra el cálculo de la velocidad de diseño, en m/s, tomando como valor de 1 al factor de topografía.

$$V_{D_{ASCE}} = 1*0.9813*14.245 = 13.98$$

### 6.4.4 Cálculo de la presión de velocidad

La presión de velocidad, $q_z$ (Pa), es la presión ocasionada por la acción del viento en una superficie y se determina de la siguiente manera:

$$q_{z_{ASCE}} = \frac{1}{2}\rho V_{D_{ASCE}}^2 \tag{6.42}$$

donde $V_D$ (m/s) es la velocidad de diseño, qz (Pa) es la presión de velocidad, y ρ (kg/m$^3$) es densidad del aire, y se toma igual a 1.225 kg/m$^3$.

Con el cálculo del valor de la velocidad de diseño calculado con anterioridad tenemos que la presión de velocidad, en Pa, es igual:

$$q_{z_{ASCE}} = 0.5*1225*(13.98)^2 = 119.7$$

### 6.4.5 Índice de turbulencia

El índice de turbulencia, es la representación de la intensidad del flujo del viento, y se calcula como se muestra a continuación:

$$I_{\bar{z}} = \lambda\left(\frac{10}{\bar{z}}\right)^{1/6} \tag{6.43}$$

donde λ es el factor de turbulencia, ver tabla 6.3, y $\bar{z}$ (m) es la altura de referencia.

Tabla 6.3 Constante de exposición ASCE 7-16

| Exposición | $\lambda$ | $\ell(m)$ | $\bar{\varepsilon}$ (m) | $z_{mín}(m)^a$ |
|---|---|---|---|---|
| B: Edificios u otras estructuras con altura media de su parte superior menor o igual a 9.1m. Debe aplicarse en donde el terreno tiene rugosidad B, es decir, áreas urbanas o suburbanas con numeras obstrucciones. Categoría 3, según el MDOC 2020. | 0.30 | 97.54 | 1/3.0 | 9.14 |
| C: Terreno abierto con obstrucciones con alturas menores a 9m, en terreno plano, suburbano o zonas montañas con hielo. Categoría 2, según el MDOC 2020. | 0.20 | 152.40 | 1/5.0 | 4.57 |
| D: Terreno plano, sin obstrucciones y superficies con agua. Categoría 1, según el MDOC 2020. | 0.15 | 198.12 | 1/8.0 | 2.13 |

Entonces el índice de turbulencia es igual a:

$$I_{\bar{z}} = 0.3\left(\frac{10}{27.6}\right)^{1/6} = 0.2533$$

### 6.4.6 Factor de respuesta de fondo

El factor de respuesta de fondo, $Q^2$, se calcula de la siguiente manera:

$$Q^2 = \frac{1}{1+0.63\left(\frac{B+h}{L_{\bar{z}}}\right)^{0.63}} \tag{6.44}$$

donde B (m) es el ancho de la estructura, h (m) es la altura de la estructura, y $L_{\bar{z}}$ es la longitud de turbulencia a la altura de referencia, z (m).

La longitud de turbulencia representa el tamaño usual, en promedio, de las ráfagas de viento. Y se calcula de la siguiente manera:

$$L_{\bar{z}} = l\left(\frac{\bar{z}}{10}\right)^{\bar{\varepsilon}} \qquad z_s \geq z_{mín} \tag{6.45}$$

Para el cálculo de la longitud de escala de turbulencia, los valores de l, y $\bar{\varepsilon}$ se obtienen de la tabla 6.3. Por lo tanto, la longitud de turbulencia es igual a:

$$L_{\bar{z}} = 97.54\left(\frac{27.6}{10}\right)^{0.333} = 136.77$$

Entonces, para el factor de respuesta de fondo, tenemos una B igual a 12.9 m y h igual a 7.2 m, medidas tipo de los anuncios espectaculares, el cual es igual a:

$$Q^2 = \frac{1}{1+0.63\left(\frac{12.9+7.2}{136.77}\right)^{0.63}} = 0.8416$$

### 6.4.7 Determinación de la velocidad media horaria

La velocidad media horaria ($V_{\bar{z}}$), en m/s, se obtendrá con la ecuación:

$$V_{\bar{z}} = \bar{b}\left(\frac{\bar{z}}{10}\right)^{\bar{\alpha}} V_{R_{3s}} \tag{6.46}$$

donde $\bar{z}$ (m) es la altura por encima del terreno natural, a la cual se desea conocer la velocidad media del viento, $V_{R3s}$ (m/s) es la velocidad regional de ráfaga, promediada a 3 segundos. Las variables $\bar{b}$ y $\bar{\alpha}$ se obtienen de la tabla 6.4.

Tabla 6.4 Coeficiente de variación de la velocidad con la altura y altura gradiente (adaptado del ASCE 7-16)

| Exposición | $\bar{b}$ | $\bar{\alpha}$ |
|---|---|---|
| B: Edificios u otras estructuras con altura media de su parte superior menor o igual a 9.1m. Debe aplicarse en donde el terreno tiene rugosidad B, es decir, áreas urbanas o suburbanas con numeras obstrucciones. Categoría 3 (MDOC, 2020). | 0.45 | 0.25 |
| C: Terreno abierto con obstrucciones con alturas menores a 9m, en terreno plano, suburbano o zonas montañas con hielo. Categoría 2 (MDOC, 2020). | 0.65 | 0.1538 |
| D: Terreno plano, sin obstrucciones y superficies con agua. Categoría 1 (MDOC, 2020). | 0.80 | 0.1111 |

Por lo tanto, la velocidad media horaria, en m/s, es igual a:

$$V_{\bar{z}} = 0.45\left(\frac{27.6}{10}\right)^{0.25} * 14.245 = 8.26$$

### 6.4.8 Cálculo del factor de ráfaga

El factor de ráfaga se calcula con la ecuación 6.47:

$$G = 0.925\left[\frac{1+1.7I_{\bar{z}}\sqrt{g_Q^2Q^2 + g_R^2R^2}}{1+1.7g_vI_{\bar{z}}}\right] \tag{6.47}$$

donde $R^2$ es el factor de respuesta en resonancia. Las variables $g_Q$ y $g_v$ son igual a 3.4, mientras que el factor pico ($g_R$) se obtiene con la ecuación 6.48.

$$g_R = \sqrt{2\ln\left(3600n_1\right)} + \frac{0.577}{\sqrt{2\ln\left(3600n_1\right)}} \tag{6.48}$$

donde $n_1$ (Hz) es la frecuencia fundamental del anuncio, igual a 0.95134 Hz.

Por lo tanto, el factor pico es igual a:

$$g_R = \sqrt{2\ln\left(3600*0.95134\right)} + \frac{0.577}{\sqrt{2\ln\left(3600*0.95134\right)}} = 4.177$$

### 6.4.9 Factor de respuesta en resonancia

El factor de respuesta en resonancia, $R^2$, se determina como se muestra a continuación:

$$R^2 = \frac{1}{\beta} R_n R_h R_B \left(0.53 + 0.47 R_L\right) \tag{6.49}$$

En donde $R_n$, $R_h$, $R_B$ y $R_L$ se determinan con las ecuaciones 6.49 a 6.56, utilizando h igual a 31.2 m, medida que representa la altura total de la estructura y un ancho de la cartelera de 1.2 m:

$$R_n = \frac{7.47 N_1}{\left[1 + 10.3 N_1\right]^{5/3}} \tag{6.50}$$

$$N_1 = l \left(\frac{\bar{z}}{10}\right)^{\bar{\varepsilon}} \left(\frac{1}{V_{\bar{z}}}\right) n_1 \tag{6.51}$$

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2\eta_h^2}\left(1 - e^{-2\eta_h}\right) \qquad R_h=1 \text{ para } \eta_h=0 \tag{6.52}$$

$$\eta_h = 4.6 n_1 h \left(\frac{1}{V_{\bar{z}}}\right) \tag{6.53}$$

$$R_B = \frac{1}{\eta_B} - \frac{1}{2\eta_B^2}\left(1 - e^{-2\eta_B}\right) \qquad R_B=1 \text{ para } \eta_B=0 \tag{6.54}$$

$$\eta_B = 4.6 n_1 B \left(\frac{1}{V_{\bar{z}}}\right) \tag{6.55}$$

$$R_L = \frac{1}{\eta_L} - \frac{1}{2\eta_L^2}\left(1 - e^{-2\eta_L}\right) \qquad R_L=1 \text{ para } \eta_L=0 \tag{6.56}$$

$$\eta_L = 15.4 n_1 L \left(\frac{1}{V_{\bar{z}}}\right) \tag{6.57}$$

Sustituyendo los valores obtenidos con anterioridad tenemos:

$$N_1 = 97.54\left(\frac{27.6}{10}\right)^{0.333}\left(\frac{1}{8.26}\right) * 0.95134 = 15.752$$

$$R_n = \frac{7.47 * 15.752}{\left[1 + 10.3 * 15.752\right]^{5/3}} = 0.02413$$

$$\eta_h = 4.6 * 0.95134 * 31.2\left(\frac{1}{8.26}\right) = 16.53$$

$$R_h = \frac{1}{16.53} - \frac{1}{2\left(16.53\right)^2}\left(1 - e^{-2*16.53}\right) = 0.0587$$

$$\eta_B = 4.6 * 0.95134 * 12.9\left(\frac{1}{8.26}\right) = 6.83$$

$$R_B = \frac{1}{6.83} - \frac{1}{2(6.83)^2}\left(1 - e^{-2*6.83}\right) = 0.1356$$

$$\eta_L = 15.4*0.95134*1.2\left(\frac{1}{8.26}\right) = 2.1284$$

$$R_L = \frac{1}{2.1284} - \frac{1}{2(2.1284)^2}\left(1 - e^{-2*2.1284}\right) = 0.361$$

Para un valor de amortiguamiento (β) del 1%, tenemos que:

$$R^2 = \frac{1}{0.01}*0.02413*0.0587*0.1356\left(0.53 + 0.47*0.361\right) = 0.0134$$

### 6.4.10 Factor de ráfaga

Con el cálculo del factor pico, los factores de respuesta de fondo y de respuesta en resonancia, así como el índice de turbulencia, tenemos que el factor de ráfaga es igual a:

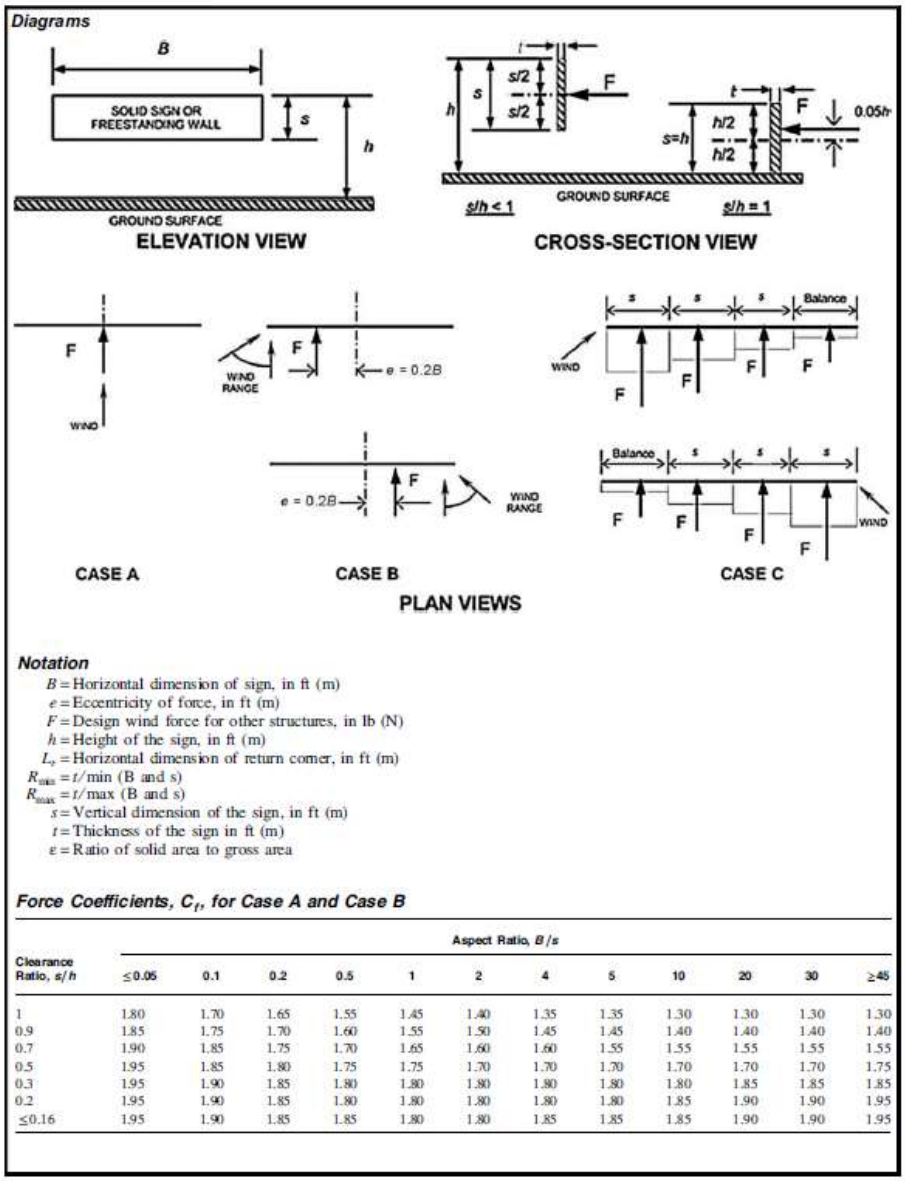
$$G = 0.925\left[\frac{1 + 1.7*0.2533\sqrt{3.4^2*0.8416 + 4.177^2*0.0134}}{1 + 1.7*3.4*0.2533}\right] = 0.8856$$

### 6.4.11 Cálculo de la fuerza del viento

La fuerza del viento, $F_{eq}$ (kg), se obtiene, para una altura sobre el nivel del terreno, z (m), con la expresión 6.57:

$$F_{eq} = q_z A_f C_f G \tag{6.58}$$

donde $A_f$ ($m^2$) es el área de contacto, y $C_f$ es coeficiente de fuerza, ver figura 6.15.




**Force Coefficients, $C_f$, for Case A and Case B**

| Clearance Ratio, $s/h$ | Aspect Ratio, $B/s$ ≤0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 1 | 2 | 4 | 5 | 10 | 20 | 30 | ≥45 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1.80 | 1.70 | 1.65 | 1.55 | 1.45 | 1.40 | 1.35 | 1.35 | 1.30 | 1.30 | 1.30 | 1.30 |
| 0.9 | 1.85 | 1.75 | 1.70 | 1.60 | 1.55 | 1.50 | 1.45 | 1.45 | 1.40 | 1.40 | 1.40 | 1.40 |
| 0.7 | 1.90 | 1.85 | 1.75 | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.60 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 | 1.55 |
| 0.5 | 1.95 | 1.85 | 1.80 | 1.75 | 1.75 | 1.70 | 1.70 | 1.70 | 1.70 | 1.70 | 1.70 | 1.75 |
| 0.3 | 1.95 | 1.90 | 1.85 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.85 | 1.85 | 1.85 |
| 0.2 | 1.95 | 1.90 | 1.85 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.85 | 1.90 | 1.90 | 1.95 |
| ≤0.16 | 1.95 | 1.90 | 1.85 | 1.85 | 1.80 | 1.80 | 1.85 | 1.85 | 1.85 | 1.90 | 1.90 | 1.95 |

FIGURE 29.3-1 Design Wind Loads (All Heights): Force Coefficients, $C_f$, for Other Structures—Solid Freestanding Walls and Solid Freestanding Signs

Figura 6.15 Valores del coeficiente de fuerza (ASCE7-16).

Entonces, para obtener el coeficiente de fuerza tenemos el siguiente proceso:

$$\frac{B}{s} = \frac{12.9}{7.2} = 1.7917$$

$$\frac{s}{H} = \frac{7.2}{31.2} = 0.2308$$

Por lo tanto, tenemos un coeficiente de fuerza de 1.8:

$$F_{eq} = 119.7 * 92.88 * 1.8 * 0.8856 = 17722.56$$

## 6.5 FUERZAS Y DESPLAZAMIENTOS EN LA CARTELERA PARA LAS DISTINTAS CATEGORÍAS DEL TERRENO

Durante el proceso se obtuvieron las fuerzas y desplazamientos en los diferentes letreros para cada una de las diferentes categorías de terreno en los diferentes manuales de estudio, esto se realizó con el procedimiento exacto recomendado por cada normativa, a continuación, se muestra de manera gráfica la respuesta de los distintos letreros para todos los manuales, esta respuesta, a diferencia de las gráficas mostradas anteriormente, no cuenta con las fuerzas en el tubo, únicamente muestran de manera comparativa la respuesta con la fuerza de la cartelera entre el código europeo, el manual ASCE y ambas versiones del MDOC.

Para esta comparativa se utilizaron los valores recomendados en cada norma para los datos utilizados sin importar si existían discrepancias en los mismos, como es el coeficiente de presión el cual es de 1.8 en el ASCE y el código europeo, mientras que en el MDOC es igual a 1.4575 en sus dos versiones, y la densidad del aire la cual se tomó igual a 1.225 kg/m3, solamente para el código europeo dicho valor cambia, siendo este de 1.25 kg/m3, para el amortiguamiento de 0.01 en el manual ASCE y 0.002 en el resto, es importante aclarar que para la conversión a un tiempo de promediación de 10 minutos se utilizará 0.702 como en los MDOC. La figura 6.23 muestra los nodos donde se obtuvo la respuesta para el “Letrero 1”.

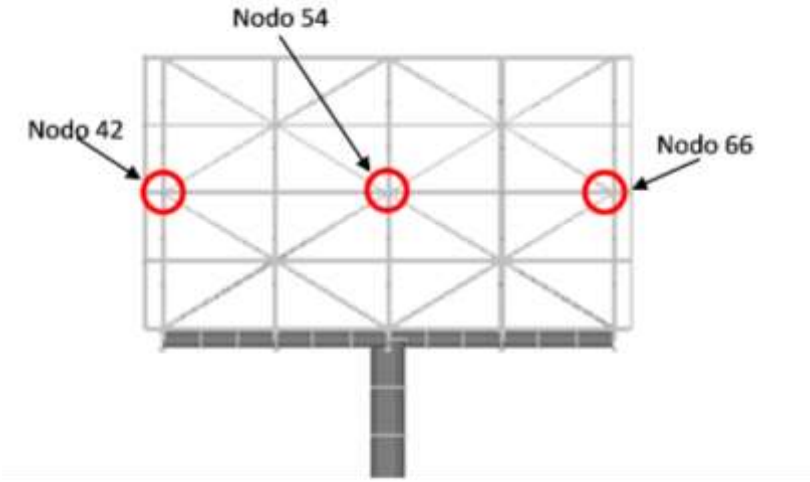



Figura 6.23 Nodos seleccionados para resumir la respuesta del “Letrero 1”.

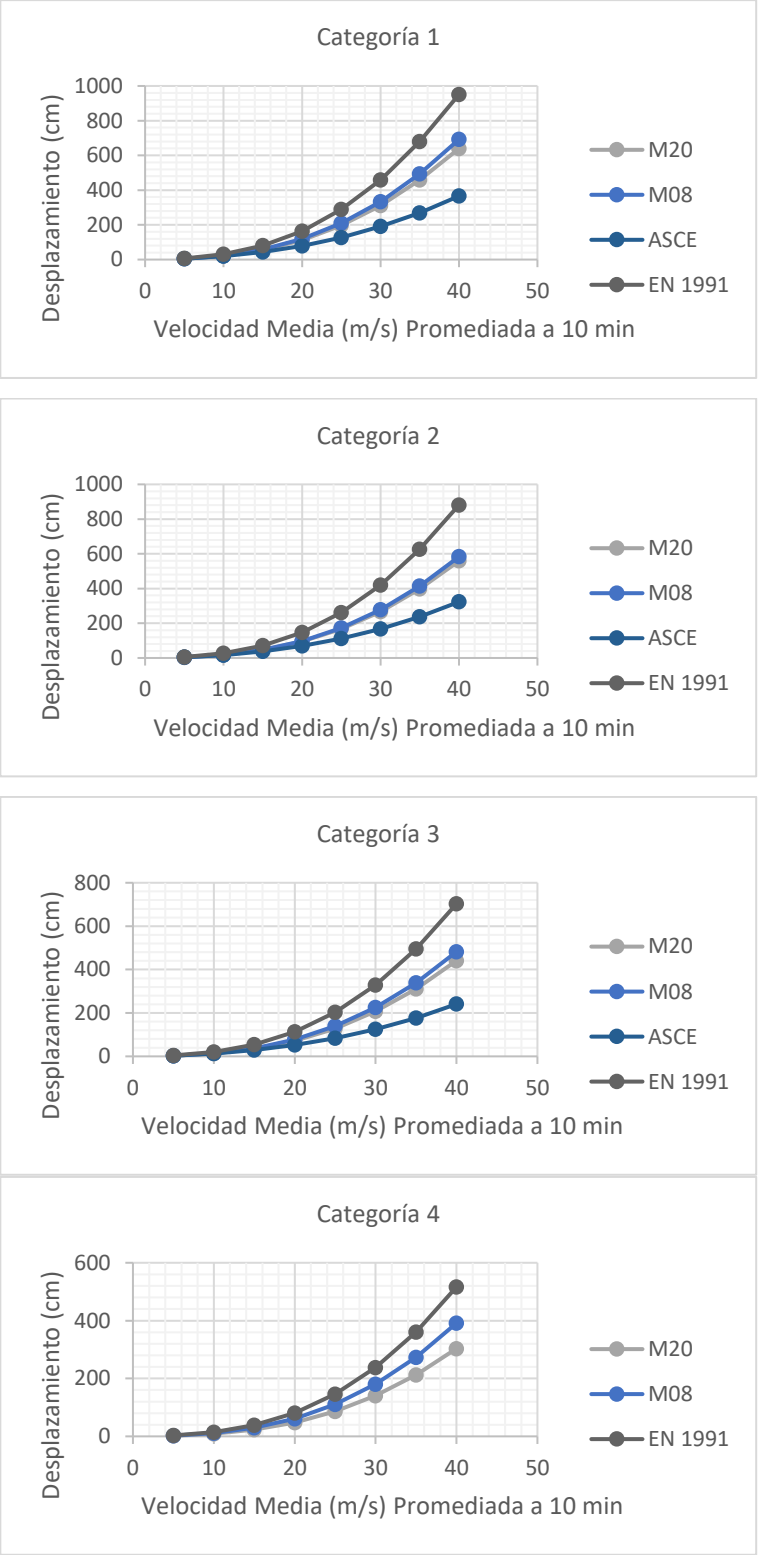



Figura 6.24 Respuesta del nodo 42, “Letrero 1”.

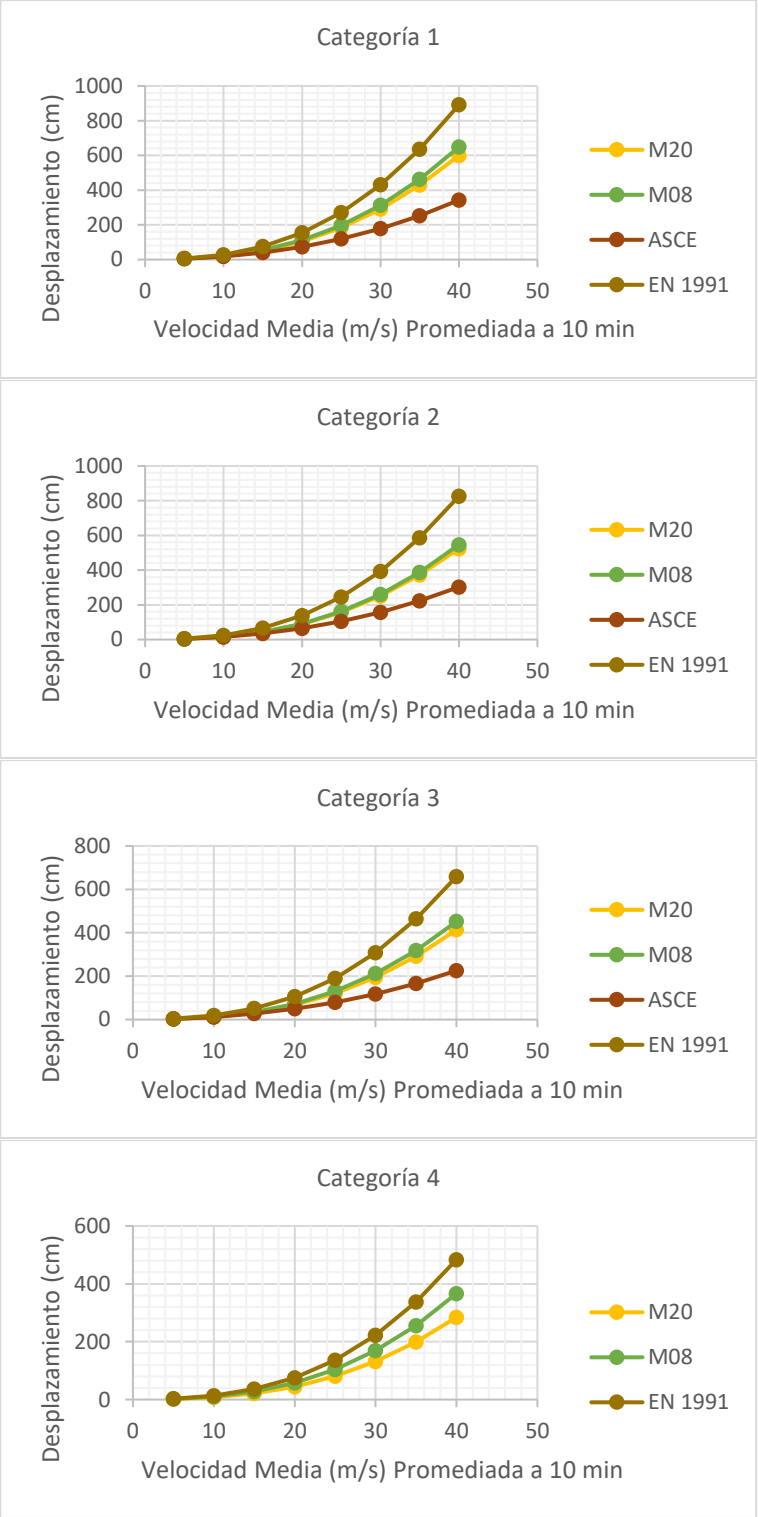



Figura 6.25 Respuesta del nodo 54, “Letrero 1”.

A continuación, se muestran las fuerzas del “Letrero 1” para las 4 categorías de terreno, en estás podemos ver el crecimiento en las acciones con respecto a cada categoría.

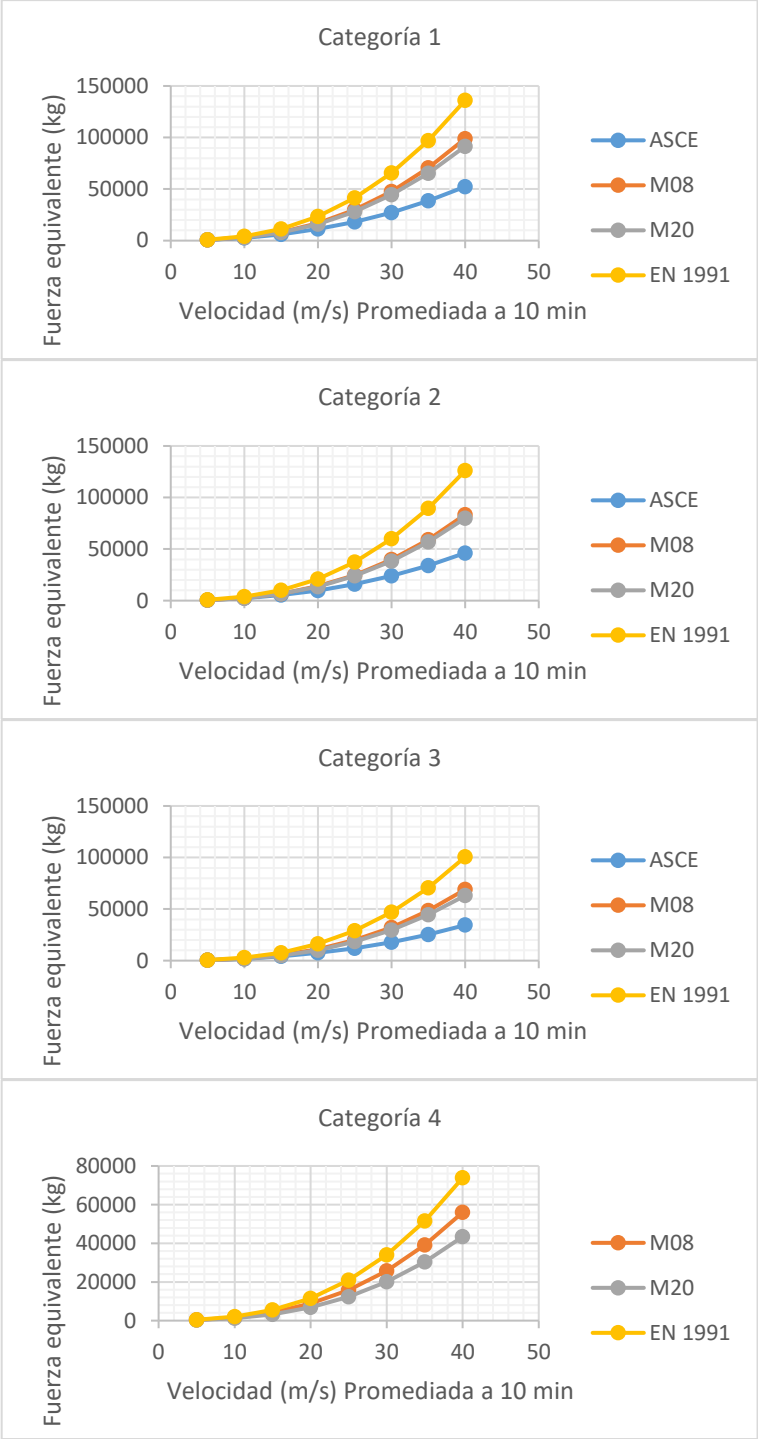



Figura 6.26 Fuerzas en la cartelera, “Letrero 1”.

### 6.5.1 Respuesta del “Letrero 1”

El denominado “Letrero 1” es el anuncio que cuenta con el tubo de soporte al centro de la estructura, las tablas 6.5 a 6.8 muestran de manera numérica la respuesta de dicho anuncio para las diferentes categorías de terreno descritas por cada normativa.

Tabla 6.5 Desplazamientos en nodos del “Letrero 1”, categoría 1.

| | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | | ASCE | | EN 1991 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 |
| Velocidad media | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | |
| m/s | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm |
| 5 | 4.5953 | 4.3066 | 4.5553 | 4.269 | 4.6514 | 4.3591 | 6.2841 | 5.8892 |
| 10 | 21.6684 | 20.3069 | 21.0536 | 19.7308 | 18.7744 | 17.5947 | 29.7536 | 27.884 |
| 15 | 57.8113 | 54.1789 | 55.2297 | 51.7594 | 43.0524 | 40.3473 | 79.5534 | 74.5548 |
| 20 | 119.008 | 111.5303 | 112.3595 | 105.2995 | 78.7075 | 73.762 | 163.8487 | 153.5535 |
| 25 | 209.8322 | 196.6478 | 196.5014 | 184.1546 | 127.2626 | 119.2663 | 288.837 | 270.6884 |
| 30 | 333.7983 | 312.8246 | 310.7854 | 291.2577 | 190.2999 | 178.3427 | 459.2714 | 430.4139 |
| 35 | 493.6897 | 462.6695 | 457.6939 | 428.9355 | 269.3207 | 252.3984 | 678.9082 | 636.2502 |
| 40 | 691.7693 | 648.3031 | 639.2484 | 599.0823 | 365.6883 | 342.7108 | 950.8011 | 891.0591 |

Tabla 6.6 Desplazamientos en nodos del “Letrero 1”, categoría 2.

| | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | | ASCE | | EN 1991 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 |
| Velocidad media | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | |
| m/s | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm |
| 5 | 3.7055 | 3.4727 | 3.6769 | 3.4459 | 4.1183 | 3.8595 | 5.5021 | 5.1564 |
| 10 | 17.5016 | 16.4019 | 17.1776 | 16.0983 | 16.6032 | 15.56 | 26.1838 | 24.5385 |
| 15 | 46.9955 | 44.0426 | 45.7112 | 42.839 | 38.0026 | 35.6148 | 70.6806 | 66.2395 |
| 20 | 97.5766 | 91.4456 | 94.3535 | 88.425 | 69.353 | 64.9953 | 147.1407 | 137.8954 |
| 25 | 173.4947 | 162.5934 | 167.1356 | 156.6339 | 112.0316 | 104.9923 | 261.9375 | 245.4791 |
| 30 | 278.0654 | 260.5936 | 267.2141 | 250.4242 | 167.5536 | 157.0257 | 420.0248 | 393.6333 |
| 35 | 413.9279 | 387.9194 | 397.1085 | 372.1569 | 237.4218 | 222.5038 | 625.3403 | 586.0481 |
| 40 | 583.2338 | 546.5873 | 558.8747 | 523.7588 | 323.0484 | 302.7502 | 881.0866 | 825.725 |

Tabla 6.7 Desplazamientos en nodos del “Letrero 1”, categoría 3.

| | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | | ASCE | | EN 1991 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 |
| Velocidad media | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | |
| m/s | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm | cm |
| 5 | 2.9322 | 2.748 | 2.715 | 2.5444 | 3.1393 | 2.942 | 4.227 | 3.9614 |
| 10 | 13.744 | 12.8804 | 12.7401 | 11.9396 | 12.6295 | 11.8359 | 19.9203 | 18.6687 |
| 15 | 36.9263 | 34.6061 | 34.2183 | 32.0682 | 28.7935 | 26.9843 | 53.7555 | 50.3779 |
| 20 | 77.3207 | 72.4623 | 71.4954 | 67.003 | 52.2882 | 49.0028 | 112.7826 | 105.6961 |
| 25 | 139.0206 | 130.2855 | 128.1823 | 120.1281 | 84.0695 | 78.7871 | 202.8974 | 190.1486 |
| 30 | 225.3418 | 211.1829 | 207.1766 | 194.159 | 125.2837 | 117.4117 | 328.8509 | 308.1881 |
| 35 | 338.9822 | 317.6828 | 310.8215 | 291.2915 | 177.1552 | 166.0243 | 494.498 | 463.427 |
| 40 | 482.167 | 451.8709 | 441.041 | 413.329 | 240.9238 | 225.7858 | 703.011 | 658.8384 |

Tabla 6.8 Desplazamientos en nodos del “Letrero 1”, categoría 4.

| | MDOC 2008 | | MDOC 2020 | | EN 1991 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 | Nodo 42 | Nodo 54 |
| Velocidad media | Desplazamiento | | Desplazamiento | | Desplazamiento | |
| m/s | cm | cm | cm | cm | cm | cm |
| 5 | 2.4682 | 2.3131 | 1.8642 | 1.7471 | 3.1551 | 2.9569 |
| 10 | 11.2788 | 10.5701 | 8.6034 | 8.0629 | 14.5615 | 13.6465 |
| 15 | 29.6347 | 27.7726 | 22.8399 | 21.4048 | 38.6723 | 36.2424 |
| 20 | 61.5198 | 57.6543 | 47.6957 | 44.6988 | 80.8249 | 75.7464 |
| 25 | 110.6661 | 103.7126 | 85.9991 | 80.5955 | 145.8827 | 136.7164 |
| 30 | 180.2819 | 168.9542 | 140.1336 | 131.3285 | 237.9657 | 223.0135 |
| 35 | 273.081 | 255.9224 | 212.0909 | 198.7645 | 360.5272 | 337.8741 |
| 40 | 391.3625 | 366.7719 | 303.5413 | 284.4688 | 516.4722 | 484.0206 |

Como podemos observar solo se muestran los nodos 42 y 54, ya que los nodos 42 y 66 tienen los mismos desplazamientos, esto debido a la simetría de la cartelera, por otro lado el nodo 54 tiene desplazamientos menores a los extremos, como se explicó con anterioridad sucede porque el tubo que se usa de soporte para la cartelera se encuentra en el centro, como se tienen desplazamientos exactamente iguales en los extremos, únicamente se muestra, tanto de manera gráfica como numérica los nodos 42 y 54 para todas las velocidades.

## 6.6 CONCLUSIONES

- La respuesta del "Letrero 1" con cada uno de los manuales utilizados muestran ciertas diferencias, aunque el proceso del código europeo y las dos versiones del MDOC tienen mayores similitudes en su proceso, se observa una diferencia grande en la respuesta de la estructura.
- La diferencia en la respuesta de la estructura entre el código europeo y el MDOC, se centra, primero en la diferencia de los coeficientes de fuerza utilizados para cada una de las normativas, y segundo, en el valor de la presión de velocidad.

## 6.7 REFERENCIAS

Manual de diseño de obras civiles (2008), Diseño por viento, Comisión Federal de Electricidad.

Manual de diseño de obras civiles (2020), Diseño por viento, Comisión Federal de Electricidad.

EN-1991-1-4 (2005): Eurocode 1: Actions on structures-part 1-4: General Actions-wind actions.

ASCE/SEI 7-16: Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures.

# CAPÍTULO 7

# CONCLUSIONES

## 7.1 CONCLUSIONES

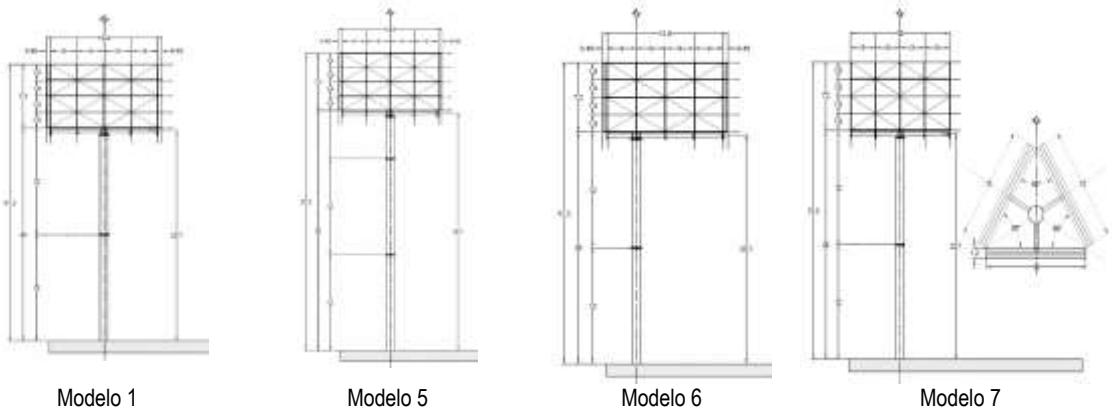
- Hasta el año 2017 de las 32 entidades existentes en la República Mexicana solamente Ciudad de México, Yucatán y Chiapas contaban con reglamentos de publicidad exterior, debido a esto se tiene una gran problemática en la republica ya que no se cuenta con lineamientos que puedan orientar a los publicistas para la colocación de sus anuncios, además de tener una gran cantidad de irregularidades en donde si se cuenta con reglamentos.
- Debido a la problemática que generan los anuncios, durante el lapso de tiempo que comprende el año 2015 hasta junio de 2018 el INVEA suspendió 1,141 anuncios y retiró aproximadamente 575 anuncios, entre auto soportados y anuncios de azotea.
- Del año 2000 a junio de 2022 se tienen 2,610 anuncios colapsados, de esos, solamente en los años 2014, 2016 y 2017 hubo 1,265 anuncios colapsados, lo cual corresponde aproximadamente al 48% del total, teniendo que en esos tres años se tuvieron eventos con fuertes rechas de viento que tocaron tierra en la República Mexicana, los cuales fueron responsables de la mayor cantidad de colapsos de anuncios, por lo cual, es notorio y preocupante el gran incremento que se genera en temporada de huracanes.
- Es de notarse que las ciudades del centro del país, que no es considerada zona de incidencia de huracanes, y en donde se encuentran ciudades como la Ciudad de México, se reportan 290 letreros espectaculares que se colapsaron; en el Estado de México 130 y en Guanajuato 97, incluso, Zacatecas con 158; por lo que hay eventos de fuertes rachas de vientos, no asociadas a los huracanes que han incidido en el colapso de este tipo de estructuras. Es posible, que vientos como las ráfagas descendentes o los tornados sean los responsables de dichos daños.
- Curiosamente en algunos estados en los que si hay fuerte incidencia de huracanes como Yucatán (22), Campeche (22), Chiapas (22), Tabasco (14) y Oaxaca (29); el número de letreros que se colapsaron es relativamente bajo.

Se describieron las características físicas de los modelos de monopolares estudiados, así como las formas modales, sus periodos y la participación de la masa que interactúa en un análisis dinámico. Para ello se consideraron tres letreros espectaculares de uso convencional en los medios publicitarios:

1) Modelo 1, con una cartelera rectangular con dimensiones geométricas y con elementos estructurales convencionalmente utilizados en México.
2) Modelo 1, similar al Modelo 2, pero con la viga tubo colocada en el centro de masa. Este Modelo no es común en México.
3) Modelo 3 y Modelo 4, son modelos que violan las normas de publicidad vigentes en la Ciudad de México, y se estudia la influencia de colocar la mampara con las dimensiones colocadas en dirección vertical, es decir, más alta que ancha, y con el tubo viga en la base de la cartelera (Modelo 3) y con el tubo viga colocado en el centro de masa de la cartelera (Modelo 4).
4) Modelo 5, se trata de un espectacular con dimensiones que violan los límites de altura, de la norma publicitaria vigente en la Ciudad de México, con 6 m más de altura que los letreros permitidos (Modelo 1).
5) Modelo 6, se trata de un modelo en forma de bandera, convencionalmente utilizado para permitir la visual de la publicidad en lugares con alta densidad de obstáculos.
6) Modelo 7, se trata de un modelo con tres vistas, utilizado en zonas o terrenos abiertos, que permiten visualizar la publicidad desde varios ángulos.

Para todos los modelos estudiados, el modo fundamental que se presenta es en flexión, con una participación de la masa entre un 60 y 70%. El segundo modo en flexión, se encuentra es entre un 15 y 20 por ciento del fundamental, con una participación de la masa en la dirección de la flexión de un 10% aproximadamente.

Existen algunos modos en flexo-torsión locales de la armadura que soporta la cartelera, pero no tiene participación modal en la dirección del análisis eólico.



| Modelo 1 | Modelo 5 | Modelo 6 | Modelo 7 |
|---|---|---|---|
| $T_1$=1.05 s | $T_1$=1.51 s | $T_1$=1.08 s | $T_1$=1.66 s |
| $T_2$=0.21 s | $T_2$=0.26 s | $T_2$=0.22 s | $T_2$=0.37 s |

Figura 7.1 Periodos de vibrar en flexión de los modelos estudiados.

En la Figura 7.1 se muestran en forma resumida, los modelos estudiados y sus dos primeros periodos de vibrar en flexión, en la dirección perpendicular a la mampara. Considerando el Modelo 1 como base, se puede ver que el Modelo 6, que tiene las mismas propiedades de masa y rigidez, pero una excentricidad del centro de cortantes y el centro de masa, en las direcciones (x,z), tiene poca influencia en cuanto sus periodos de vibrar, prácticamente son los mismos.

Comparando el Modelo 1 y el Modelo 5, debido a que éste tiene 6 m de altura más que le Modelo 1, y la mima masa de la cartelera, presenta un periodo fundamental mayor, pero el segundo periodo es casi similar.

El Modelo 7, tiene dos veces más masa que el Modelo 1, aunque la misma rigidez lateral, por lo que tiene un periodo mayor.

- La respuesta en cada una de las estructuras muestra la importancia de una masa concentrada en estructuras tan flexibles, los desplazamientos llegan a magnitudes muy grandes, magnitudes que no son realistas para que soporte una estructura de ese tipo.
- La configuración de los anuncios es una característica muy importante a destacar en este tipo de estructuras, ya que de ellas depende en gran parte la respuesta de las mismas, teniendo que en las estructuras sin excentricidad en el tubo (Letrero 1) cuentan con un mejor comportamiento que las estructuras de bandera (Letrero 2) ya que la torsión en estas últimas, genera desplazamientos muy por encima que las estructuras sin excentricidad, mientras que las estructuras de los anuncios de tres caras (Letrero 3), al tener una masa mucho mayor que las anteriores también genera un cambio en la respuesta con respecto a la primera configuración (Letrero 1), por último, la estructura con mayor flexibilidad debido al incremento de altura (Letrero 4), genera una respuesta muy por encima de las tres configuraciones anteriores, destacando la importancia de la acción del viento con respecto a la altura.

- El momento de volteo en la base de la cartelera tiene un comportamiento muy similar en las cuatro configuraciones en las que se basó este trabajo, pero se muestra de manera muy clara como los “Letreros 1 y 2”, los cuales tienen la misma masa, cuentan con momentos de volteo muy similares, esto debido a la pequeña variación en el periodo y la velocidad de diseño que hay entre sí, no así, en los “Letreros 3 y 4” los cuales muestran cambios debido a que su periodo y velocidad difieren de manera considerable con respecto a las otras dos configuraciones, esto debido al incremento de la masa que tiene el “Letrero 3” y al incremento en la altura del “Letrero 4”.
- Se genera cierta similitud en lo que respecta al momento de volteo, hasta una velocidad media de 25 m/s, en la base del letrero, después de dicha velocidad la el incremento del momento es claramente visible, resaltando el anuncio que cuenta con una mayor altura.
- La respuesta en cada una de las estructuras varia con respecto al método utilizado, teniendo desplazamientos mayores obtenidos con el procesamiento de señales respecto a los 4 manuales de estudio, siendo el código europeo el que se muestra más cercano las señales, por otro lado, el manual ASCE cuenta con una respuesta menor.
- Aunque los manuales de diseño de obras civiles son muy similares, cuentan con pequeños cambios en los valores que definen el perfil de velocidades, esto se puede observar en los cambios que se muestran en la respuesta, siendo que en la versión 2008 la respuesta es mayor que su versión 2020.
- La respuesta en cada una de las estructuras varia con respecto al método utilizado, teniendo desplazamientos muy similares entre el código europeo y el MDOC (2008 y 2020 modificados), no así con el manual ASCE el cual cuenta con una respuesta menor, a diferencia de la revisión anterior, en estas versiones se modificaron algunas fórmulas para tomar en cuenta la contribución de la ráfaga en el análisis, la cual influye de manera significativa en el aumento de la respuesta.
- Para las categorías 1 y 2, el MDOC 2008 es muy parecido al código europeo, mientras en la categoría 3 es prácticamente idéntico, la categoría 4 queda por debajo del código europeo y el MDOC 2020, por otro lado, el MDOC 2020 se encuentra por debajo de los dos manuales mencionados en las categorías 1 y 2, mientras que en la categoría 3 es igual a los otros dos, en la categoría 4 queda por encima de ambos, el manual ASCE queda por debajo del resto en todas las categorías de terreno.
- El procesamiento de señales mantiene desplazamientos mayores a los obtenidos por medio de ambas versiones del MDOC modificadas, el código europeo y el manual ASCE.
- La respuesta del “Letrero 1” con cada uno de los manuales utilizados muestran ciertas diferencias, aunque el proceso del código europeo y las dos versiones del MDOC tienen mayores similitudes en su proceso, se observa una diferencia grande en la respuesta de la estructura.
- La diferencia en la respuesta de la estructura entre el código europeo y el MDOC, se centra, primero en la diferencia de los coeficientes de fuerza utilizados para cada una de las normativas, y segundo, en el valor de la presión de velocidad.