



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

CÁLCULO MANUAL DE LA CARGA DE VIENTO PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS SEGÚN ASCE7-2016

LAURA RAMÍREZ CABRERA

Informe de Actividad de Graduación para optar al Grado de
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica

Profesor Supervisor:
TÓMAS ZEGARD

Santiago de Chile, enero, 2022.

(A mi familia que me ha apoyado en todo momento, en cumplir cada meta, cada sueño, a ellos que son la luz en mi vida.)

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a mi profesor guía Tomás Zegard, por el apoyo brindado, comprensión, dedicación y su optimismo en lograr buenos resultados.

A mi familia por apoyarme desde la distancia y estar siempre pendiente de mí.

A mis compañeros y amigos de magister por apoyarnos mutuamente y compartir tantos momentos agradables en el trascurso del magister.

A mis amigos de corazón, los cercanos y los que están lejos, porque a pesar de la distancia y de estos tiempos tan complejos, sus alientos y fuerzas transmitidas me han ayudado a continuar el camino.

A la cooperación entre mi país y el gobierno chileno, además de la AGCID, que me dieron la oportunidad de estudiar en una universidad de tanta excelencia como la Pontificia Universidad Católica de Chile.

A la coordinación y claustro de profesores del magister que, aunque se ha desarrollado en tiempos diferentes, su apoyo y profesionalidad ha sido el máximo en todo momento.

A mi persona, por no rendirse, por estar perseverante y estar abierta a tantos cambios para llegar a cumplir nuevas metas.

INDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I. Introducción.....	1
I.1 Motivación	2
I.2 Estado del Arte.....	2
I.2.1 Norma ASCE7-2016.....	2
I.2.2 ETABS -2019	4
I.3 Objetivo.....	5
I.4 Organización del trabajo	6
II. Metodología.....	7
II.1 Procedimiento utilizando. Norma ASCE7-2016.....	7
II.1.1 Parámetros básicos para cargas de viento.....	9
II.1.1.1 Cálculo de Presiones de Viento.....	15
II.1.1.2 Cargas de diseño mínimo.....	16
II.1.2 Casos de Carga.....	16
II.2 Procedimiento que realiza ETABS 2019.	17
II.3 Procedimiento realizado pseudo-manualmente (MATLAB)	21
II.4 Características de los modelos a realizar.....	23
II.4.1 Definición de la geometría.....	23
II.4.2 Materiales.....	24
II.4.3 Modelación y secciones de los elementos.	25
II.4.4 Cargas	26

III.	Ejemplos de Cálculo de la Carga de Viento	28
III.1	Ejemplo de cálculo de carga de viento, Modelo 1.	28
III.1.1	Comparación de los resultados del Modelo1.....	32
III.2	Resultados y análisis de los Modelos realizados.....	37
IV.	Conclusiones	47
IV.1	Futuras investigaciones.....	48
	BIBLIOGRAFIA.....	49
	A N E X O S.....	50
	Anexo A: Resultados del Modelo 2	51
	Anexo B: Resultados del Modelo 3.....	57
	Anexo C: Resultados del Modelo 4.....	62

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla II-1: Casos de carga que genera ETABS-2019.	20
Tabla II-2: Modelos analizados.....	24
Tabla II-3: Secciones de vigas y columnas de cada modelo analizado.....	26
Tabla II-4: Cargas asignadas a la estructura.....	27
Tabla III-1: Comparación de resultados para qz Modelo 1.	30
Tabla III-2: Comparación de resultados para Cp Modelo 1.....	30
Tabla III-3: Comparación de resultados de presiones p Modelo 1.	31
Tabla III-4: Comparación de presiones en el parapeto del Modelo 1.	32
Tabla III-5: Comparación de resultados de presiones para para Caso 1.	33
Tabla III-6: Comparación de resultados de presiones para Caso 2.	33
Tabla III-7: Comparación de resultados de presiones para Caso 2.	34
Tabla III-8: Comparación de resultados de presiones para Caso 4.	35
Tabla III-9: Comparación de resultados de presiones para Caso 4.	35
Tabla III-10: Comparación de resultados de presiones para Caso 4.	36
Tabla III-11: Comparación de resultados de presiones para Caso 4.	36
Tabla III-12: Presiones de viento Modelo 5.....	40
Tabla III-13: Comparación de presiones del Caso 1 Modelo 5.....	41
Tabla III-14: Comparación de presiones del Caso 2 Modelo 5.....	42

Tabla III-15: Comparación de presiones del Caso 2 Modelo 5.....	43
Tabla III-16: Comparación de presiones del Caso 4 Modelo 5.....	44
Tabla III-17: Comparación de presiones del Caso 4 Modelo 5.....	45

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura II.1: Esquema para diseño para carga de viento (ASCE7-16).	8
Figura II.2: Casos de Carga (ASCE7-16).....	17
Figura II.3: Ejemplo de áreas tributarias de carga de viento (ETABS).	19
Figura II.4: Determinación de carga de viento para cada piso.....	22
Figura III.1: Estructura del Modelo 1.....	28
Figura III.2: Estructura del Modelo 5.....	37
Figura III.3: Distribución de presiones por velocidad de viento.....	39

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es el cálculo manual de cargas de viento para análisis estructural en edificaciones, siguiendo la norma ASCE7-16 y con el apoyo de la herramienta MATLAB para su posterior implementación. El trabajo busca comparar los resultados obtenidos de forma manual con los que se obtienen mediante el cálculo de cargas de viento automático derivado del software ETABS, con el propósito de validar las herramientas utilizadas, enmarcándonos en entender y plasmar de manera más explícita el funcionamiento del proceso de cálculo. Además, este trabajo se muestra como una alternativa más flexible y transparente en el cálculo de la carga, la que puede ser aplicada pseudo-manualmente en herramientas comerciales como ETABS u otra.

Se realizaron varios modelos de edificios con geometría variable, evidenciándose la variación que esto produce sobre factores como el coeficiente de ráfaga G , ya que depende de la rigidez de la estructura. El cálculo manual se hace asignando cargas puntuales para cada nivel de piso a través de la integración de presiones basado en una integración por trapecios, y se comprueba como ambos procedimientos arrojan resultados coherentes entre sí, manteniendo una diferencia relativamente pequeña y frecuentemente despreciable en las métricas (magnitudes) estructurales de interés.

ABSTRACT

The objective of this work is the manual calculation of wind loads for structural analysis in buildings, following the ASCE7-16 standard and with the support of the MATLAB tool for its subsequent implementation. The work seeks to compare the results obtained manually with those obtained through the calculation of automatic wind loads derived from the ETABS software, with the purpose of validating the tools used, framed in understanding and expressing in a more explicit way the operation of the process. calculation. In addition, this work is shown as a more flexible and transparent alternative in the calculation of the load, which can be applied pseudo-manually in commercial tools such as ETABS or another.

Several models of buildings with variable geometry were made, evidencing the variation that this produces on factors such as the gust coefficient G , since it depends on the stiffness of the structure. The manual calculation is done by assigning point loads for each floor level through the integration of pressures based on an integration by trapezoids, and it is verified how both procedures yield consistent results, maintaining a relatively small and often negligible difference in the metrics. structural (magnitudes) of interest.

I. INTRODUCCIÓN

Ha medida que han evolucionado los sistemas constructivos a nivel mundial, se han proyectado estructuras cada vez más altas y con geometrías más particulares. Por ello se ha llegado a la necesidad de mejorar las técnicas de análisis y materiales a utilizar, buscando la optimización de tiempo y espacios para un mejor aprovechamiento económico. De forma general, el estudio para la proyección y diseño de edificaciones altas, trae consigo un correcto y detallado análisis de la influencia de cargas dinámicas inducidas por viento y sismo, que provocan la desestabilización en los desplazamientos laterales y aceleraciones.

La carga dinámica generada por el viento está asociado a problemas de desplazamientos y aceleraciones, lo que puede producir daños por deformación excesiva, pérdida de estabilidad, fatiga, rotura de elementos estructurales y no estructurales, voladura de techos entre otras. La carga de viento sobre una estructura depende también de las condiciones climáticas particulares del lugar donde esta ubicadas la estructura; velocidad, dirección del viento, estacionalidad, efectos dinámicos por presiones fluctuantes y turbulencias, etc.

Conforme aumente la altura del edificio, y especialmente su esbeltez ($\lambda = h/b$) la acción del viento comienza a dominar la estabilidad y diseño de las construcciones. Para un análisis por cargas de viento es necesario mencionar que la fuerza aplicada por este en una edificación, se determina básicamente por el área o superficie expuesta o en contacto con el mismo. Por lo que, a medida que aumenta la altura del edificio, el área de contacto será más grande generando así una mayor fuerza de viento (Condori Uchiri, 2014).

I.1 Motivación

Muchas son las normativas existentes que están dirigidas al cálculo de la carga de viento, las cuales comparten en lo general criterios basados en las características geométricas, ambientales y estructurales del sistema a analizar. Dentro de ellas se encuentra el ASCE7-16 que comprende las cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras, donde tiene dentro de su desarrollo varios capítulos dirigidos al diseño por cálculo de cargas de viento.

Por otra parte, a medida que han evolucionado los programas computacionales dirigidos a la modelación y diseño estructural, estos también incorporan criterios basados en estas normativas, donde muchas veces la metodología de cálculo y aplicación de las cargas no es del todo transparente para el usuario.

Este trabajo busca comprobar y validar de manera manual las cargas de viento obtenidas a través de una herramienta comercial específica, en este caso ETABS. La herramienta ETABS fue seleccionada por su popularidad mundial, y gran penetración en rubro de la ingeniería estructural de habla hispana. Pese a la gran popularidad de ETABS, en ocasiones sus cálculos y resultados son difícilmente verificables o validables, lo que se presenta como un misterio para el usuario.

I.2 Estado del Arte

I.2.1 Norma ASCE7-2016

La normativa ASCE7 fue elaborada durante un proceso de estandarización cuyo ente impulsor ha sido acreditado al *American National Standards Institute* (ANSI). Esta

normativa comprende las cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras.

En 1972 el *American National Standards Institute* (ANSI) publicó una norma con el mismo título (ANSI A58.1-1972). Esta norma fue luego revisada 10 años después dando a lugar al ANSI A58.1-1982, la cual contenía un innovador enfoque para el cálculo de las cargas de viento sobre componentes y revestimientos (C&C) de edificios (ANSI 1982). En esta última, los criterios de carga de viento se basaron en la comprensión de la aerodinámica de presiones en las esquinas de los edificios, aleros y áreas de crestas, así como los efectos del área promediando las presiones.

A mediados de la década de 1980, ASCE asumió la responsabilidad de las cargas mínimas de diseño para el Comité de Normas de Edificios y Otras Estructuras, que establece cargas de diseño. El documento publicado por ASCE (ASCE 7-88) contenía recomendaciones para el cálculo de cargas vivas, cargas de nieve, cargas de viento, cargas de sismo y otras cargas ambientales, así como las combinaciones de carga para efectos de diseño.

Los criterios de carga de viento de ASCE 7-88 (ASCE 1990) fueron esencialmente los mismos que ANSI A58.1-1982. En 1996, ASCE publicó ASCE 7-95 (ASCE 1996). Esta versión contenía cambios importantes en los criterios de carga del viento: el tiempo promedio básico de la velocidad del viento se cambió de la milla más rápida a una ráfaga de 3 s. Esto a su vez necesitaba cambios significativos en los parámetros del perfil de la capa límite, el factor por efecto de ráfaga y algunos coeficientes de presión. Una guía para el uso de las disposiciones de carga de viento de ASCE 7-95

(Mehta y Marshall 1998) fue publicada por ASCE para ayudar profesionales en ejercicio en el uso de las disposiciones de carga de viento de ASCE 7-95.

En 2000, ASCE publicó una revisión de ASCE 7-95 con carga de viento actualizada bajo el nombre ASCE 7-98. El Código Internacional de la Construcción (IBC 2000), que pese a su nombre aplica principalmente a en Estados Unidos, adoptó los criterios de carga de viento de ASCE 7-98 por referencia. Este fue un hito importante porque tenía el potencial de establecer un único criterio de carga de viento para el diseño de todos los edificios y estructuras para todo Estados Unidos.

Después de cada revisión del estándar ASCE / SEI 7 en 2002, 2005 y 2010; se publicó también una guía para el uso de la carga de viento por el mismo ASCE (Mehta y Delahay 2004; Mehta y Coulbourne 2010, 2013).

ASCE publicó una norma revisada, ASCE7-16, que contiene cambios significativos en los mapas de velocidad del viento para áreas alejadas de las costas propensas a huracanes y coeficientes de presión externa para C&C, y agrega paneles solares en la azotea, marquesinas adjuntas a edificios y silos, contenedores y tanques como otros elementos para los que se han desarrollado coeficientes de presión (Coulbourne & Stafford, 2016).

I.2.2 ETABS -2019

ETABS es un software comercial para el análisis estructural y dimensionamiento de edificios, siendo una herramienta con capacidad de análisis lineal y no lineal, una amplia gama de materiales, generación de gráficas de resultados, diseños esquemáticos etc.

ETABS es una herramienta basada en el análisis por elementos finitos con capacidades de pre-proceso (generación del modelo), análisis (solución del problema), y post-proceso (procesamiento de resultados). Adicionalmente, la herramienta permite dimensionar en base a los resultados obtenidos estructuras metálicas y de hormigón armado con optimización automatizada, así como de vigas y pilares mixtos, de muros de hormigón y mampostería, y también la comprobación de seguridad de conexiones y chapas metálicas. En el caso de estructuras de hormigón armado y estructuras metálicas, es posible obtener diseños esquemáticos del modelo, cuadros resumen de armaduras, tablas informativas de los perfiles y conexiones dimensionadas, detalles de los elementos estructurales y sus respectivas fuerzas de corte.

La herramienta ETABS automatiza el cálculo de cargas de viento utilizando varias normativas, dentro de ellas la ASCE7-16, incluyendo además la posibilidad de determinar la misma mediante la exposición de las cargas a diafragmas u objetos del área (es decir, revestimientos exteriores, paredes y techos).

I.3 Objetivo

El objetivo de este trabajo de grado es el cálculo manual de cargas de viento para análisis estructural en edificaciones, utilizando la norma ASCE7-16 y con el apoyo de la herramienta MATLAB para su implementación.

Los resultados obtenidos se comparan con el cálculo de cargas de viento utilizando el software ETABS, buscando validar la veracidad de las herramientas utilizadas, enmarcándonos en entender y dejar más explícito el funcionamiento del proceso de

cálculo y ofrecer una alternativa para la aplicación de las mismas en herramientas de cálculo.

I.4 Organización del trabajo

El presente documento comprende su organización en los siguientes capítulos:

- i) Capítulo II: Se presenta el método de cálculo utilizado para el análisis de la carga de viento, así como las definiciones de las estructuras a analizar.
- ii) Capítulo III: Se presentan los resultados de las estructuras analizadas (ejemplos), comparando aquellos obtenidos por el cálculo manual y los resultados obtenidos por el software ETABS.
- iii) Capítulo IV: Se presentan las conclusiones del trabajo, las recomendaciones y sugerencias a posibles futuras investigaciones.

II. METODOLOGÍA

II.1 Procedimiento utilizando. Norma ASCE7-2016

Al diseñar por la normativa ASCE7-16 se tienen tres opciones para evaluar las cargas de viento en edificios y otras estructuras con elementos del Sistema Principal Resistente a Cargas de Viento (MWFRS – Main Wind Force Resisting System) o Componentes y Revestimientos (C&C – Components and Claddings):

1. Procedimiento analítico.
2. Procedimiento simplificado.
3. Procedimiento de túnel de viento.

El procedimiento analítico se puede utilizar para todo tipo de edificios y estructuras, mientras que el procedimiento simplificado se limita a determinados tipos de edificaciones, así como otros requisitos restrictivos. El procedimiento del túnel de viento se ocupa también para cualquier edificio o estructura; sin embargo, debido a su costo y al tiempo necesario para realizar las pruebas personalizadas, normalmente se utiliza para edificios o estructuras de forma inusual o cuando las cargas de viento son críticas.

ASCE7-16, proporciona dos procedimientos de tipo para el cálculo de la carga de viento para la metodología analítica: el procedimiento direccional y el procedimiento de envolvente. El procedimiento direccional proporciona los coeficientes de presión y fuerza, asociados a las direcciones específicas del viento (barlovento, sotavento y otros). El procedimiento de envolvente proporciona coeficientes de presión que son independientes de la dirección del viento (Coulbourne & Stafford, 2016).

Dentro de los métodos mencionados, los procedimientos a seguir para realizar un diseño con cargas de viento dependiendo de las características de la estructura, se organizan en ASCE7-16 de manera:

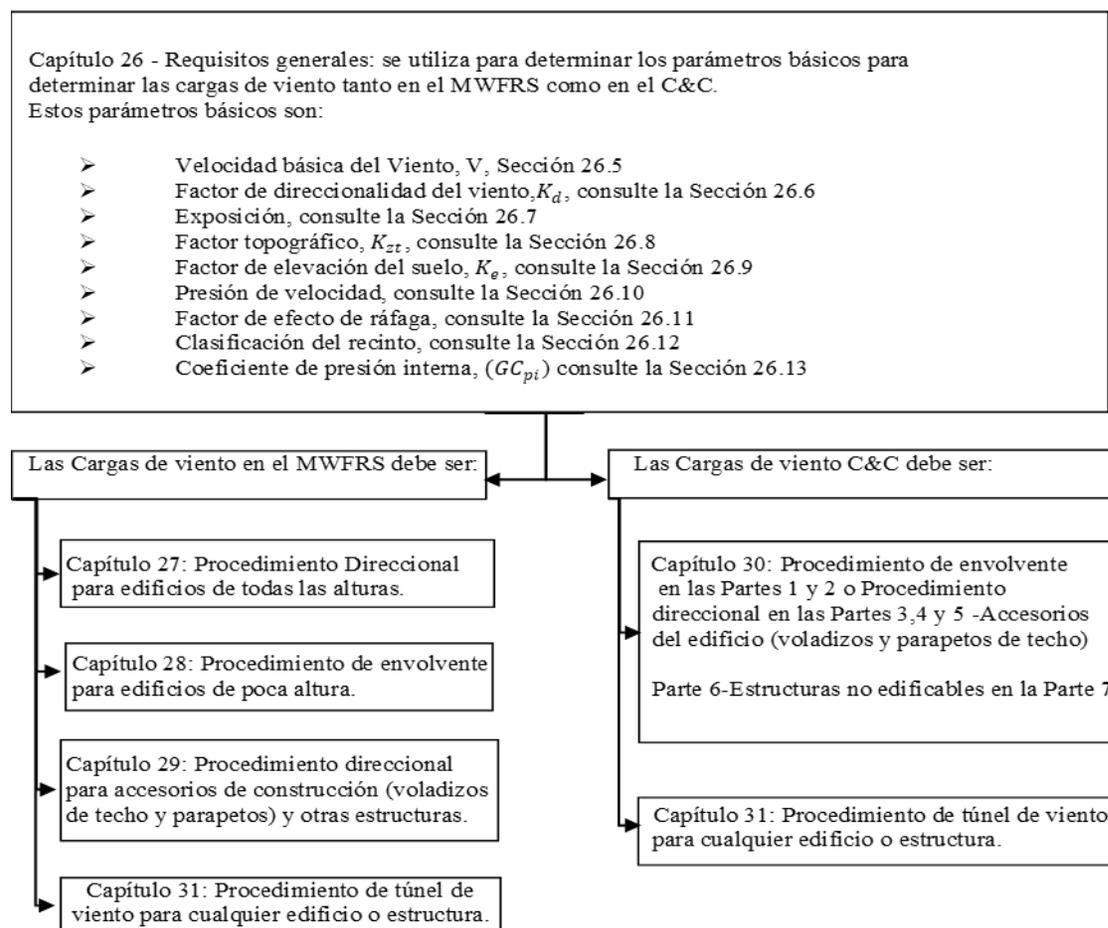


Figura II.1: Esquema para diseño para carga de viento (ASCE7-16).

Existe una disposición especial para MWFRS de edificios de poca altura, en los que las cargas de viento se obtienen mediante el procedimiento de envolvente. Un edificio de poca altura es definido como un edificio con una altura media del techo $h \leq 60$ ft (18.29 m) y donde h no excede la dimensión horizontal mínima.

II.1.1 Parámetros básicos para cargas de viento.

a) Velocidad Básica del Viento, ($V(m/s)$ o (mi/h)) – Basic Wind Speed.

La velocidad básica del viento corresponde a una velocidad de ráfaga de 3 s a 33 pies (10 m) sobre el suelo y se determina en el lugar de emplazamiento de la estructura.

Para el caso de EE.UU. este parámetro depende de la categoría de riesgo de la edificación, que se obtiene de la Tabla 1.5-1. de ASCE7-16 y de su ubicación geográfica utilizando las Figs. 26.5-1 y 26.5-2 de ASCE7-16.

b) Factor de direccionalidad del viento, (K_d) -Wind Directionally Factor.

El efecto de la direccionalidad del viento se basa en un análisis de las velocidades del viento conforme a los requisitos de la Sección 26.5.3, obteniéndose en la Tabla 26.6-1 de ASCE7-16, según tipo de estructura o sistema a analizar.

c) Factor de Exposición de Terreno, (B, C o D) -Exposure Category Factor.

El factor de exposición del terreno (B, C, D) se determina en consecuencia a la dirección del viento y la rugosidad de la superficie del suelo dependiendo de la topografía natural, vegetación e instalaciones construidas y el tipo de sistema a calcular, como se define en los apartados 26.7.2 y 26.7.3 de ASCE7-16.

d) Factor topográfico, (K_{zt}) -Topographic Effects.

Debido a la topografía del terreno (existencia de colinas o crestas), se presentan aceleraciones en la velocidad del viento, las cuales se representan por medio de un factor topográfico (K_{zt}) como se refleja en la Fig.26-8.1 de ASCE7-16, determinándose por la expresión:

$$K_{zt} = (1 + K_1 K_2 K_3)^2 \quad (2.1)$$

Donde:

K_1 : Factor que tiene cuenta la característica topográfica y el efecto de aceleración máxima.

K_2 : Factor que tiene en cuenta la reducción de la aceleración con la distancia a barlovento o sotavento de la cresta.

K_3 : Factor para tener en cuenta la reducción de la aceleración con la altura sobre el terreno local.

En caso de las condiciones del sitio y la ubicación de las estructuras no sean como las establecidas en la figura referenciada, se asume que $K_{zt} = 1$.

e) Factor de elevación del terreno, (K_e) -Ground Elevation Factor

El factor de elevación del terreno para ajustar la densidad del aire, y se obtiene por la interpolación de valores de la Tabla 26.9-1 de ASCE7-16, o por la expresión:

$$K_e = e^{-0.0000362z_g} \quad (2.2)$$

$$K_e = e^{-0.000119z_g} [SI] \quad (2.2.1)$$

Donde:

z_g : Elevación del suelo sobre nivel del mar en ft o m según corresponda.

También, se puede asumir $K_e = 1$ para todas las elevaciones.

f) Factor de Efecto de Ráfaga, (G) – Gust Effects Factor.

El factor de efecto de ráfaga depende de las características estructurales de la edificación, conociendo el valor de su frecuencia natural n_1 para determinar si presenta un comportamiento rígido o flexible.

Para estructuras rígidas con $n_1 \geq 1$ la normativa indica que se puede asumir el valor de $G = 0.85$ o calcularse mediante:

$$G = 0.925 \left(\frac{1 + 0.7g_Q I_{\bar{z}} Q}{1 + 0.7g_v I_{\bar{z}}} \right) \quad (2.3)$$

Donde:

$$I_{\bar{z}} = c \left(\frac{33}{\bar{z}} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (2.4)$$

$$I_{\bar{z}} = c \left(\frac{10}{\bar{z}} \right)^{\frac{1}{6}} [SI] \quad (2.4.1)$$

$I_{\bar{z}}$: Intensidad de la turbulencia a la altura \bar{z} .

\bar{z} : Altura equivalente del edificio, definida como $0,6h$, pero no menos de z_{min} para toda la altura de la estructura. Se obtienen c y z_{min} de la Tabla 26.11-1 de ASCE7-16.

g_Q y g_v : Se tomarán como 3.4.

Q : Factor de respuesta de fondo.

$$Q = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.63 \left(\frac{B + h}{L_{\bar{z}}} \right)^{0.63}}} \quad (2.5)$$

B : Dimensión horizontal del edificio medida normal a la dirección del viento, en ft(m).

h : Altura media del techo de un edificio, excepto que la altura del alero se utilizará para un ángulo del techo $\theta \leq 10^\circ$, en ft (m).

$L_{\bar{z}}$: Escala de turbulencia de longitud integral a la altura equivalente.

ℓ y ε : Se obtienen de la Tabla 26.11-1 de ASCE7-16.

$$L_{\bar{z}} = \ell \left(\frac{\bar{z}}{33} \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (2.6)$$

$$L_{\bar{z}} = \ell \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\epsilon}} [SI] \quad (2.6.1)$$

En el caso que la estructura tenga un comportamiento flexible, el factor de ráfaga (G_f)

se determina como:

$$G_f = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7I_{\bar{z}} \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 0.7g_v I_{\bar{z}}} \right) \quad (2.7)$$

Donde:

g_Q y g_v : Se tomarán como 3.4.

$$g_R = \sqrt{2 \ln 3,600n_1} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln 3,600n_1}} \quad (2.8)$$

R : Factor de Respuesta resonante.

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0.53 + 0.47R_L)} \quad (2.9)$$

ℓ : Deberán tomarse como h , B y L , según apartado 26.3 de ASCE7-16.

n_1 : Frecuencia natural (Hz)

$$R_\ell = R_h \text{ ajuste} \quad \eta = 4.6n_1 h / \bar{V}_{\bar{z}}$$

$$R_\ell = R_B \text{ ajuste} \quad \eta = 4.6n_1 B / \bar{V}_{\bar{z}}$$

$$R_\ell = R_L \text{ ajuste} \quad \eta = 15.4n_1 L / \bar{V}_{\bar{z}}$$

$$R_n = \frac{7.4N_1}{(1 + 10.3N_1)^{5/3}} \quad (2.10)$$

$$N_1 = \frac{n_1 L_{\bar{z}}}{\bar{V}_{\bar{z}}} \quad (2.11)$$

$$R_\ell = \frac{1}{\eta} - \frac{1}{2\eta^2} (1 - e^{-2\eta}) \quad \text{para } \eta > 0 \quad (2.12)$$

$$R_l = 1 \quad \text{para } \eta = 0 \quad (2.12.1)$$

β : Índice de amortiguación, donde se asume 2% (0.02).

\bar{V}_z : Velocidad media del viento por hora a la altura \bar{z} .

$$\bar{V}_z = \bar{b} \left(\frac{\bar{z}}{33} \right)^{\bar{\alpha}} \left(\frac{88}{60} \right) V \quad (2.13)$$

$$\bar{V}_z = \bar{b} \left(\frac{\bar{z}}{10} \right)^{\bar{\alpha}} V \text{ [SI]} \quad (2.13.1)$$

\bar{b} y $\bar{\alpha}$: Se obtiene de la Tabla 26.9-1 de ASCE7-16.

g) **Coefficiente de presión interna GC_{pi} – Internal Pressure Coefficient**

Este coeficiente depende de la clasificación de los cerramientos del edificio y se obtiene de la Tabla 26.13-1 de ASCE7-16.

Los edificios “cerrados”, “abiertos” y “parcialmente cerrados” se definen específicamente. Todos los demás edificios se consideran "parcialmente abiertos" por definición, aunque puede haber grandes aberturas en dos o más paredes. La normativa también especifica que un edificio que cumple con las definiciones de "abierto" y "parcialmente cerrado" debe considerarse "abierto" (ASCE7-16, 2016).

h) **Presión de velocidad $q_z \left(\frac{lb}{ft^2} \right)$ o $\left(\frac{N}{m^2} \right)$ – Velocity Pressure**

La presión de velocidad se determina según la ecuación:

$$q_z = 0.00256 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \left(\frac{lb}{ft^2} \right) \quad (2.14)$$

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (2.14.1)$$

Donde:

K_{zt} : Factor Topográfico.

K_d : Factor de direccionalidad del viento.

K_e : Factor de elevación del terreno.

V : Velocidad básica del viento.

K_z : Coeficiente de presión de velocidad.

El coeficiente de presión de velocidad K_z se obtiene de la Tabla 26.10-1 de ASCE7-16 dependiendo de la categoría de exposición, o por las expresiones:

$$15 \text{ ft (4.6 m)} \leq z \leq z_g \quad K_z = 2.01 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (2.15)$$

$$z < 15 \text{ ft (4.6 m)} \quad K_z = 2.01 \left(\frac{15}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} \quad (2.15.1)$$

α y z_g : Se obtienen de la Tabla 26.11-1 de ASCE7-16.

z : Altura de cada piso.

Es importante mencionar que a la altura media del techo h se calculará $q_z = q_h$.

i) Coeficientes de presión externa C_p – External Pressure Coefficient.

El coeficiente de presión externa (C_p) se obtiene de las Figs. 27.3-1, 27.3-2 y 27.3-3 de ASCE7-16, donde se utilizan B , L y h de la estructura y se determinan dichos coeficientes para las cargas a barlovento, sotavento, carga lateral y de techo.

II.1.1.1 Cálculo de Presiones de Viento.

El cálculo de las presiones de viento p $\left(\frac{lb}{ft^2}\right)$ o $\left(\frac{N}{m^2}\right)$ para el caso de edificios de todas las alturas, rígidos y flexibles, cerrados y parcialmente cerrados con sistema MWFRS, se calculan mediante:

$$p = qGC_p - q_i(GC_{pi}) \quad (2.16)$$

Donde:

$q = q_z$ Para muros de barlovento evaluados a una altura z sobre el suelo.

$q = q_h$ Para muros de sotavento, flancos y techos evaluados a la altura h .

$q_i = q_h$ Para muros de barlovento, laterales, sotavento y techos de edificios cerrados, y para evaluación de presión interna negativa en edificios parcialmente cerrados.

G : Factor de efecto de ráfaga.

GC_{pi} : Coeficiente de presión interna.

C_p : Coeficiente de presión externa.

La presión de viento se aplicará en las caras del edificio según muestra la Figs. 27.3-1, 27.3-2 y 27.3-3 de ASCE7-16.

- Parapetos:

La presión del viento de diseño para el efecto de los parapetos en MWFRS de edificios rígidos o flexibles con techos planos, a dos aguas o a cuatro aguas, se determina mediante:

$$p_p = q_p(GC_{pn}) \quad (2.17)$$

p_p : Presión neta combinada sobre el parapeto causada por la combinación de las presiones netas de las superficies del parapeto delantero y trasero.

q_p : Presión de velocidad evaluada en la parte superior del parapeto.

GC_{pn} = coeficiente de presión neta combinada:

= +1,5 para el parapeto de barlovento

= -1,0 para el parapeto de sotavento.

II.1.1.2 Cargas de diseño mínimo.

La carga de viento que se utiliza en el diseño para un edificio cerrado o parcialmente cerrado, no debe ser inferior a 16 lb/ft² (0.77 kN/m²) multiplicado por el área de la pared del edificio, y 8 lb/ft² (0,38 kN/m²) multiplicado por el área del techo del edificio proyectada sobre un plano vertical normal a la dirección asumida del viento. Las cargas de pared y techo se deben aplicar simultáneamente. La fuerza del viento de diseño para edificios abiertos no debe ser inferior a 16 lb/ft² (0.77 kN/m²) multiplicada por el área.

II.1.2 Casos de Carga.

La normativa ASCE7-16 propone para sistemas MWFRS de edificios de todas las alturas, que se diseñen las cargas de viento para cuatro casos definidos como se muestra en la Figura II.2, sin embargo, dicha normativa específica en el Apéndice D los tipos de edificios que no son necesarios diseñar para los casos de carga 2 y 4.

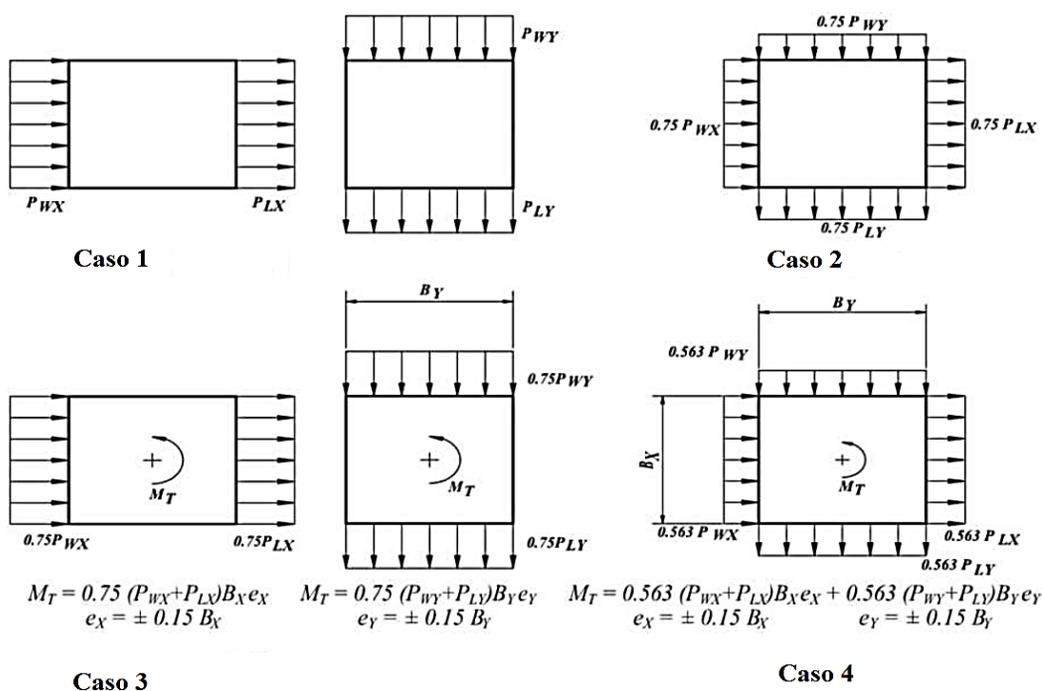


Figura II.2: Casos de Carga (ASCE7-16)

P_{Wx} y P_{Wy} : Presión del viento actuando a barlovento en sentido x e y según corresponda.

P_{Lx} y P_{Ly} : Presión del viento actuando a sotavento en sentido x e y según corresponda.

e_x y e_y : Excentricidad del viento actuando en dirección x e y medido desde el centro geométrico de la cara del edificio perpendicular a la dirección del viento.

M_T : Momento torsional actuando en el eje vertical del edificio.

II.2 Procedimiento que realiza ETABS 2019.

Los formularios que definen las cargas de viento automáticas calculadas en ETABS, constan de cuatro conjuntos de datos de entrada:

- i. un primer conjunto de datos define la exposición al seleccionar la carga en función de diafragmas u objetos de área;

- ii. el segundo conjunto define los parámetros de exposición al viento;
- iii. el tercer conjunto define la altura de exposición;
- iv. el cuarto conjunto es para especificar los coeficientes de viento y dependen de la normativa que se utilice, en nuestro caso la ASCE7-16 (Computers and Structures, 2021).

El procedimiento según el tipo de exposición que experimenta la carga, se determina para:

- a) Exposición a los diafragmas.

En este tipo de exposición, se calcula una carga lateral para cada diafragma presente a nivel de piso, tomando la elevación del nivel del piso, la altura del piso por encima y por debajo de ese nivel, el ancho de exposición asumido para cada diafragma, y los coeficientes normativos de viento.

El ancho de exposición de los diafragmas se determina de acuerdo al ancho tributario que contemplan, el cual se define como la sumatoria de la mitad de la altura del piso por encima y de la mitad de la altura del piso por debajo, como se muestra en la Fig.II.3.

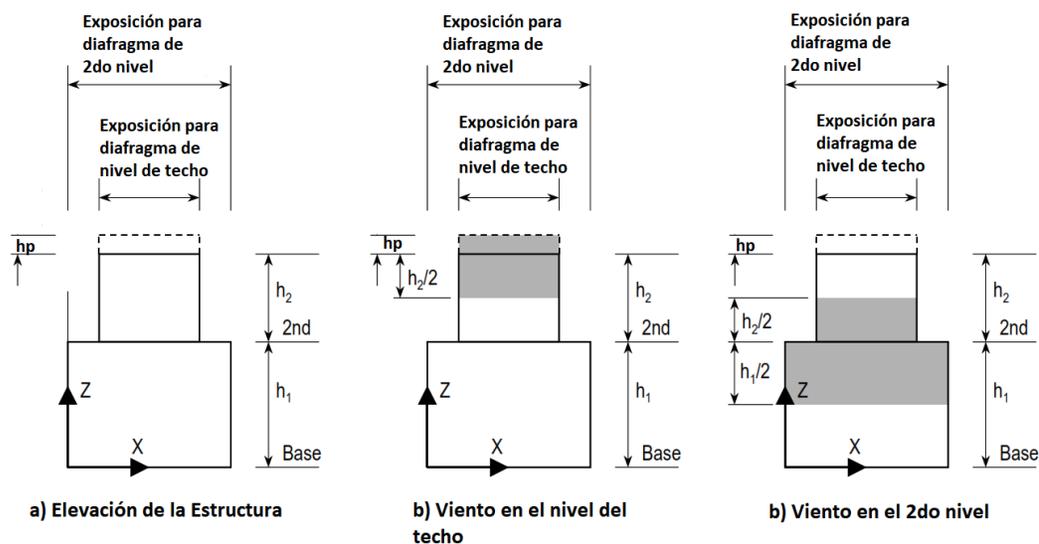


Figura II.3: Ejemplo de áreas tributarias de carga de viento (ETABS).

En cuanto a los parámetros normativos de exposición al viento, se encuentran los tipos de Casos (1, 2, 3 y 4) que se describen en la Fig.27.3-8 de ASCE7-16, donde existe la opción de evaluarlos en todos los casos, generando 12 combinaciones para su análisis. Otros de los parámetros utilizados son los factores de excentricidad e_1 y e_2 que presentan un valor típico de 0.15 (Computers and Structures, 2021).

Los coeficientes de presión de entrada son los coeficientes de presión C_p definidos en la Fig.27.3-1 de ASCE7-16 para las direcciones de barlovento y sotavento de la estructura. Existe la opción de ser calculados por el programa o ser especificados por el usuario.

En dependencia del tipo de exposición que tendrá la estructura se determinan los coeficientes de viento; velocidad básica del viento V (mph), categoría de exposición, el factor topográfico K_{zt} , el factor de ráfaga G , el factor de direccionalidad k_d , abordados en el apartado II.1 de este trabajo bajo las especificaciones de ASCE7-16.

Las presiones de velocidad de viento (q_z, q_h) a barlovento y sotavento, se hallan según Ec.26.10-1 de ASCE7-16. Bajo los criterios de la Sección 27.3 de ASCE7-16, sin incluir la presión interna producida por el viento, se calculan las presiones viento como:

$$p = q_z G C p(\text{barlovento}) + q_h G C p(\text{sotavento}) \quad (2.18)$$

La aplicación de estas presiones, determina una fuerza lateral resultante (P_x, P_y) en las direcciones x e y del edificio, en cada nivel del diafragma, calculándose para cada uno de los 4 casos que propone la normativa ASCE7-16 como se muestra en la Tabla II-1.

Tabla II-1: Casos de carga que genera ETABS-2019.

Casos	Fuerzas Laterales	Momentos Torsionales
1	P_x	---
1	P_y	---
2	$0.75 P_x$	$\pm 0.75 e_1 B_x P_x$
2	$0.75 P_y$	$\pm 0.75 e_1 B_y P_y$
3	$0.75(P_x + P_y)$	---
4	$0.563(P_x + P_y)$	$\pm 0.563(e_1 B_x P_x \pm e_2 B_y P_y)$

P_x, P_y : Fuerzas del viento resultantes en la dirección x e y .

e_1 : Excentricidad de la carga en la dirección aplicada.

e_2 : Excentricidad de la carga en la dirección transversal aplicada.

B_x, B_y : Anchos de los diafragmas en la dirección x e y .

El programa no aplica cargas de viento verticales automáticamente sobre el área horizontal proyectada en las superficies del techo. Para incluir esas cargas de viento verticales en el mismo patrón de carga, el usuario debe incluirlas manualmente.

b) Exposición a los objetos de área

Si se selecciona la exposición de los objetos del área, se generarán cargas de viento en cada objeto del área al que se le haya asignado un coeficiente de presión del viento C_p . Estas cargas se basan en la elevación y dimensiones del objeto, y varios coeficientes de viento que dependen de la normativa.

A diferencia de la opción de exposición de diafragma que genera solo cargas de viento laterales, la opción de exposición de objetos de área generará cargas de viento normales a cualquier objeto de área, independientemente de su orientación. Por lo tanto, esta opción se puede utilizar para generar cargas verticales y laterales (Computers and Structures, 2021).

El programa determina presiones de viento mediante la misma formulación utilizando la Sección 27.3 de ASCE7-16, pero distribuyéndolas en la superficie de cada objeto de área, lo que a su vez crea cargas en las articulaciones conectadas a los objetos de área. Aunque se han abordado los dos tipos de exposición en los que se calculan automáticamente las cargas de viento a través de este software, este trabajo se concentra en la exposición a los diafragmas para el procedimiento de cálculo a utilizar.

II.3 Procedimiento realizado pseudo-manualmente (MATLAB)

Se realiza un procedimiento manual utilizando la herramienta MATLAB, para el cálculo de la carga de viento en estructuras con geometría y datos necesarios, basado en las especificaciones de los capítulos 26 y 27 de ASCE7-16 y expuestas en los apartados II.1 y II.2 de este documento.

Al realizar el procedimiento manual se determinan las presiones de viento sobre la superficie de área para barlovento, sotavento, dirección lateral y el techo.

Con el objetivo de concentrar estas cargas en los pisos (para presiones a barlovento y sotavento), se realiza una asignación de cargas puntuales a nivel de diafragmas, a través de la integración de presiones basado en el método por trapecios. Este procedimiento aproximado consiste en integrar trapecios utilizando valores en distintos puntos del área tributaria de presiones asociada a un diafragma de piso según muestra la Fig. II.4.

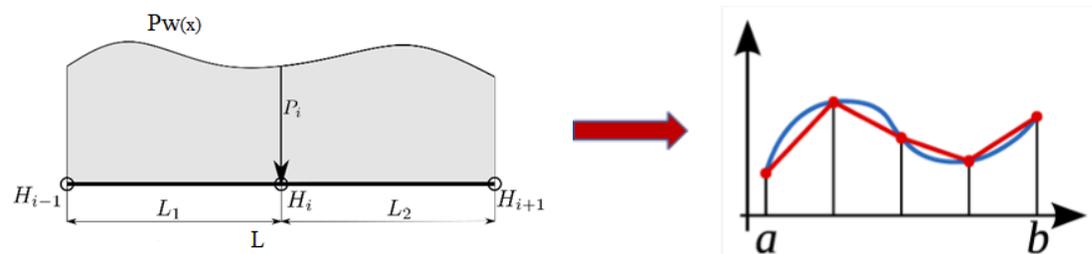


Figura II.4: Determinación de carga de viento para cada piso.

$P_{w(x)}$: Presión del viento en dirección x e y, sobre la superficie a analizar, (lb/ft²) o (kN/m²).

$P_{(i)}$: Presión del viento a determinar para cada nivel de piso según el área tributaria correspondida.

L : Ancho tributario del piso a analizar.

$$L = L_1 + L_2 = (h_{pi}/2) + (h_{ps}/2) \quad (2.19)$$

h_{pi} : Altura del piso inferior a analizar

h_{ps} : Altura del piso superior a analizar

Las cargas anteriores se multiplican por el ancho B (B_x o B_y) de cada diafragma para su concentración en cada nivel de piso, y se calcula para cada caso según lo abordado en el apartado II.1.2 de este trabajo, utilizando los resultados por cada dirección de viento.

II.4 Características de los modelos a realizar

Persiguiendo lograr el objetivo trazado, se realizan modelos con distintas características, variando la geometría. También se comprueba con un ejemplo resuelto proveniente de la referencia (Coulbourne & Stafford, 2016).

Para la modelación se tomaron varias consideraciones tales que:

- Las estructuras a realizar se encuentran trabajando en el rango elástico lineal.
- Los elementos del sistema principal resistente a cargas laterales se encuentran rígidamente conectados.
- Las cargas a aplicar serán cargas gravitacionales y la carga lateral de viento.
- Los modelos se realizan de dos maneras; de manera manual (con ayuda de la herramienta MATLAB) y mediante el cálculo automático de las cargas de viento por exposición a los diafragmas realizado en ETABS, ambos bajo especificaciones de la normativa ASCE7-2016.

II.4.1 Definición de la geometría

Se realizaron modelos de hormigón armado conformados por vigas, columnas y losas, definidos en la Tabla II-2.

Tabla II-2: Modelos analizados

Modelos	Cantidad de Pisos	Altura de los pisos (m)	Altura Total (m)	Geometría de la base (x; y) (m)
Modelo 2	8	3.2	25.6	30x23
Modelo 3	8	3.2 y 3.5	30.3	30x23
Modelo 4	18	2.8	50.4	30x23
Modelo 5	18	2.8 y 3.0	52.2	30x23

El Modelo 1 corresponde al ejemplo resuelto en *Wind Loads- Guide to the Wind Load Provisions of ASCE7-16* (Coulbourne & Stafford, 2016) el cual se explica de manera completa en su análisis más adelante.

II.4.2 Materiales

Los materiales a utilizar en la modelación y construcción de edificaciones son muy importantes para definir qué sistema estructural a utilizar. En nuestros casos, se ha se utilizan vigas, columnas y losas de hormigón armados bajo las especificaciones:

- **Hormigón G35**

Resistencia última del hormigón: $f'_c = 350 \frac{kgf}{cm^2}$

Peso específico del hormigón: $\gamma_c = 2.5 \frac{tonf}{m^3}$

Módulo de elasticidad del hormigón: $E_c = 15100\sqrt{f'_c} = 282495 \frac{kgf}{cm^2}$

- **Acero de refuerzo A630-420H**

Resistencia última del acero: $f_{us} = 90 \text{ ksi}$

Esfuerzo de fluencia: $f_{ys} = 420 \text{ Mpa}$

Módulo de elasticidad del acero: $E_s = 29000 \text{ ksi}$

Peso específico del acero: $\gamma_s = 7850 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$

II.4.3 Modelación y secciones de los elementos.

- **Masa**

La masa se conforma por el 100% de la carga muerta más el 25% de la carga viva, en los entrepisos se toman la masa concentrada.

- **Casos de Carga**

Se aplican los casos de carga modal, carga muerta, viva y carga de viento, trabajando en rango lineal.

- **Parámetros para el diseño**

- Se consideraron nodos rígidos con un 75% tomando en cuenta el caso más real entre las conexiones en los elementos viga-columnas.

- Toda la base de la estructura se considera empotrada.

- Las losas se consideran infinitamente rígidas en su plano, para ello se asigna un diafragma rígido para cada nivel de entrepiso.

- **Dimensiones de vigas, columnas y losas.**

Se consideran secciones de vigas y columnas con sus propiedades brutas especificándose en cada modelo las dimensiones y secciones utilizadas, donde se modelaron con elementos tipo “frame”, los cuales se discretizan con un mallado de 0.5m para tener una correcta interacción con las losas, las cuales se modelan con elementos “Shell-thin” con un espesor de 16 cm y discretizadas a 0.5m.

No se muestra el diseño de los elementos, los cuales fueron predimensionados de manera correcta bajo especificaciones del ACI 318-19 y comprobados mediante el software ETABS.

Tabla II-3: Secciones de vigas y columnas de cada modelo analizado

Modelos	Vigas (H.A) Dimensiones(cm)	Columnas (H.A)
Modelo 2	Nivel (1-4) 45x75	70x70
	Nivel (5-8) 55x35	55x55
Modelo 3	Nivel (1-4) 45x75	70x70
	Nivel (5-8) 55x35	55x55
Modelo 4	Nivel (1-6) 55x35	55x55
	Nivel (7-12) 65x45	75x75
	Nivel (12-18) 75x55	95x95
Modelo 5	Nivel (1-6) 55x35	55x55
	Nivel (7-12) 65x45	75x75
	Nivel (12-18) 75x55	95x95

II.4.4 Cargas

Además del análisis de carga de viento (W) que es el objetivo principal del trabajo, se consideran las cargas muertas (D) que corresponde al peso propio de los elementos en la estructura (calculado y asignado automáticamente por el software utilizado) y sobrecargas correspondientes a tuberías, tabiquería y la cargas tipo “cladding” las cuales corresponden a la cristalería de revestimiento como paredes para valores típicos en edificios.

Se aplicaron también a la estructura cargas vivas (L) siguiendo especificaciones de la ASCE7-2016 para edificios con función de oficinas.

Tabla II-4: Cargas asignadas a la estructura

Ubicación	D(kN/m²)	L(kN/m²)
Entrepisos	3.0	2.5
Cubierta	0.49	1
“Cladding” (Cristalería de revestimiento)	1.0	-

- **Combinaciones**

Las combinaciones de carga utilizadas cumplen según (ASCE7-16, 2016) son:

$$U_1 = 1.4D$$

$$U_2 = 1.2D + 1.6L$$

$$U_3 = 1.2D + 1.0W + 1.0L$$

$$U_4 = 0.9D + 1.0W$$

III. EJEMPLOS DE CÁLCULO DE LA CARGA DE VIENTO

Se realizan varias estructuras para realizar un correcto análisis y responder al objetivo trazado. Para ello se muestran los resultados obtenidos tras la modelación y puesta en práctica de la metodología empleada.

III.1 Ejemplo de cálculo de carga de viento, Modelo 1.

Para verificar los resultados obtenidos a través de la herramienta manual, se toma un ejemplo resuelto de la pág.25 de la guía analizada, de referencia (Coulbourne & Stafford, 2016), el cual se considera el Modelo 1 en el análisis.

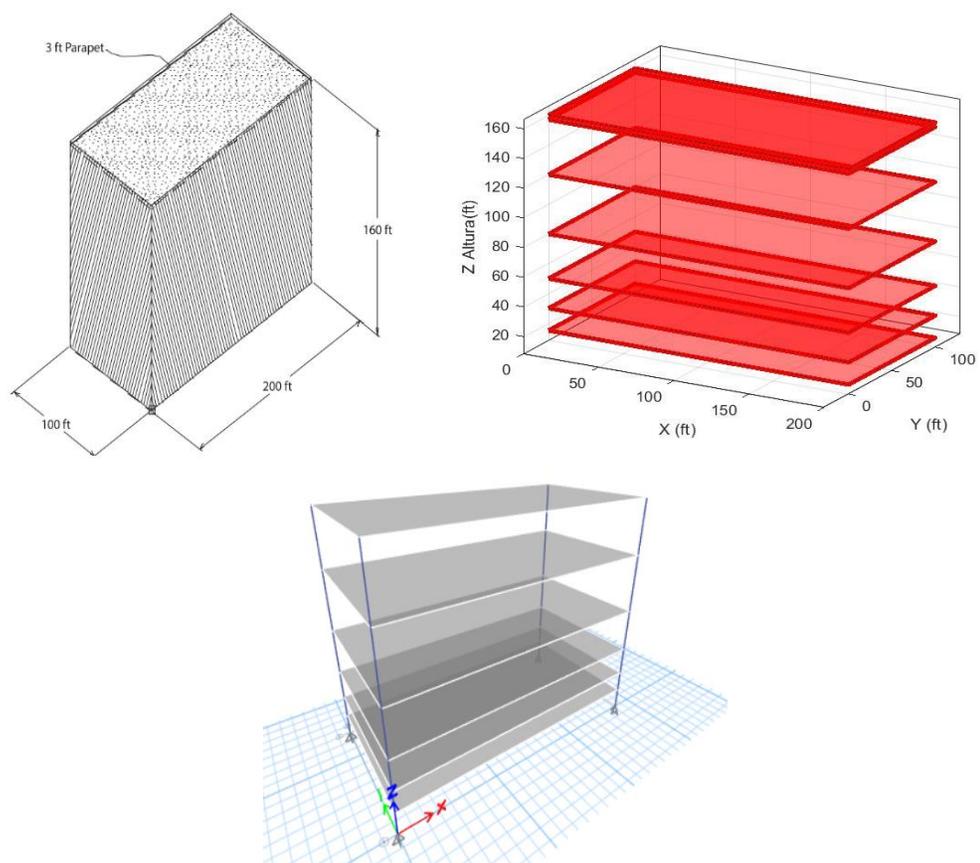


Figura III.1: Estructura del Modelo 1.

Características y datos necesarios en la estructura:

- Clasificación del Edificio: Edificio para oficinas
- Velocidad Básica del viento: $V = 140$ mph
- Categoría de Exposición: B (Zona suburbana)
- Dimensiones en planta:

$$B_x = 100 \text{ ft} \quad L_x = 200 \text{ ft} \quad B_y = 200 \text{ ft} \quad L_y = 100 \text{ ft}$$

$$h = 157 \text{ ft} \quad h_{\text{parapeto}} = 3 \text{ ft} \quad z_{\text{parapeto}} = 160 \text{ ft}$$

- Frecuencia natural: 1 Hz (Se toma para este ejemplo 1 Hz, pero el autor deja en claro que no es la frecuencia natural real de la estructura).
- Factor de Ráfaga: $G = 0.83$ (Se podría tomar 0.85 pero el autor propone su cálculo donde se tiene $G=0.83$).
- Factor topográfico: $K_{zt} = 1.0$
- Factor de elevación del terreno: $K_e = 1.0$
- Factor de direccionalidad del viento: $K_d = 0.85$

Siguiendo todo lo abordado en el capítulo anterior bajo el procedimiento descrito en ASCE7-16, se calcula los coeficientes de presión de velocidad K_z para cada altura (z) a analizar según la Ec. 2.15 y Ec. 2.15.1.

El autor en (Coulbourne & Stafford, 2016) determina este coeficiente mediante la Tabla 26.10-1 de ASCE7-16, pero aun así los resultados tienen una diferencia relativamente pequeña como se muestra en la Tabla III-1, observándose también las presiones de velocidad de viento a barlovento y sotavento (q_z, q_h) calculadas según Ec.21.10-1 de ASCE7-16.

Tabla III-1: Comparación de resultados para q_z Modelo 1.

z (ft)	Modelo1 (Guía Analizada)			Modelo1 (Cálculo Manual)		
	K_z	q_z (psf)	q_h (psf)	K_z	q_z (psf)	q_h (psf)
15	0.57	24.3	47.7	0.57	24.51	47.95
30	0.7	29.8	47.7	0.70	29.88	47.95
50	0.81	34.5	47.7	0.81	34.58	47.95
80	0.93	39.6	47.7	0.93	39.54	47.95
120	1.04	44.3	47.7	1.04	44.40	47.95
157	1.12	47.7	47.7	1.12	47.95	47.95
160(Parapeto)	1.13	48.1	-	1.13	48.2	-

Tabla III-2: Comparación de resultados para C_p Modelo 1.

				Modelo 1 (Guía Analizada)		Modelo 1 (Cálculo Manual)	
Dirección del viento	Dist. (ft)	L/B o h/L(Techo)		C_p		C_p	
		Direc. x	Direc. y	Direc. x	Direc. y	Direc. x	Direc. y
Barlovento	0-z	0.5	2	0.8	0.8	0.8	0.8
Sotavento	h	0.5	2	-0.3	-0.5	-0.3	-0.5
Lateral	h	0.5	2	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7
Techo	0-h/2	0.785	1.57	-0.98	-1.04	-0.98	-1.04
	h/2-h			-0.78	-0.7	-0.79	-0.7
	>h			-0.62	-	-0.61	-

Para la determinación de la presión de viento a barlovento, sotavento y en el techo en ambas direcciones utilizando Ec.27.3-1 de ASCE7-16, se hallan los coeficientes de presión externa C_p mostrados en la Tabla III-2 y para presión interna $GC_{pi} = \pm 0.18$ (edificio cerrado) según Tabla 26.13-1 ASCE7-16. Los valores de las presiones de viento se muestran en la Tabla III-3 y se evidencia como coinciden nuevamente los resultados utilizando ambas variantes de cálculo.

Tabla III-3: Comparación de resultados de presiones p Modelo 1.

	Dist. (m)	Modelo 1 (Guía Analizada)			Modelo 1 (Cálculo Manual)		
		Presión Externa (psf)		Presión Interna (psf)	Presión Externa (psf)		Presión Interna (psf)
		Direc. x	Direc. y		Direc. x	Direc. y	
Barlovento	15	16.1	16.1	±8.6	16.35	16.35	±8.63
	30	19.8	19.8	±8.6	19.93	19.93	±8.63
	50	22.9	22.9	±8.6	23.06	23.06	±8.63
	80	26.3	26.3	±8.6	26.37	26.37	±8.63
	120	29.4	29.4	±8.6	29.61	29.61	±8.63
	157	31.7	31.7	±8.6	31.97	31.97	±8.63
Sotavento	0-157	-11.9	-19.8	±8.6	-11.99	-19.98	±8.63
Lateral	0-157	-27.7	-27.7	±8.6	-27.7	-27.7	±8.63
Techo	0-79	-38.8	-41.2	±8.6	-39.16	-41.56	±8.63
	79-157	-30.9	-27.7	±8.6	-31.41	-27.98	±8.63
	157-200	-24.5	-	±8.6	-24.54	-	±8.63

Los resultados de las presiones de la Tabla III-4 para el caso del Parapeto, determinados utilizando Ec.27.3-3 de ASCE7-16, mantienen la misma tendencia de igualdad entre ellos que los anteriores.

Tabla III-4: Comparación de presiones en el parapeto del Modelo 1.

		Modelo 1 (Guía Analizada)		Modelo 1 (Manual)	
Parapeto	GCpn	p(psf)	p(lf)	qp(psf)	p(lf)
Barlovento	1.5	72.2	216.4	72.31	216.92
Sotavento	-1	-48.1	-144.3	-48.21	-144.62

Además, los resultados de las presiones de viento mantienen el supuesto de que, a medida que va aumentando la altura de la edificación, las presiones tienen valores mayores, siendo también una forma de comprobar la veracidad del procedimiento.

III.1.1 Comparación de los resultados del Modelo1.

Se realiza el cálculo de carga de viento de forma manual como se expuso en la Sección II.3 de este documento, y se compara con los resultados que se obtienen en ETABS, mostrándose para los cuatro casos de carga que contempla ASCE7-16.

Tabla III-5: Comparación de resultados de presiones para para Caso 1.

z (ft)	Caso 1					
	Modelo 1 (ETABS)		Modelo 1 (Manual)		% Diferencia	
	P(lb) Eje-x	P(lb) Eje-y	P(lb) Eje-x	P(lb) Eje-y	Eje-x	Eje-y
15	4.35E+04	1.11E+05	4.23E+04	1.09E+05	2.92%	2.28%
30	5.62E+04	1.40E+05	5.62E+04	1.40E+05	0.07%	0.06%
50	8.85E+04	2.17E+05	8.83E+04	2.17E+05	0.18%	0.15%
80	1.35E+05	3.26E+05	1.35E+05	3.26E+05	0.10%	0.08%
120	1.60E+05	3.81E+05	1.60E+05	3.81E+05	0.10%	0.09%
157	1.16E+05	2.61E+05	1.16E+05	2.62E+05	0.48%	0.42%

Tabla III-6: Comparación de resultados de presiones para Caso 2.

z (ft)	Caso 2					
	Modelo 1 (ETABS)		Modelo 1 (Manual)		% Diferencia	
	P(lb) Eje-x	P(lb) Eje-y	P(lb) Eje-x	P(lb) Eje-y	Eje-x	Eje-y
15	3.26E+04	8.33E+04	3.17E+04	8.14E+04	2.92%	2.28%
30	4.22E+04	1.05E+05	4.21E+04	1.05E+05	0.07%	0.06%
50	6.64E+04	1.63E+05	6.62E+04	1.62E+05	0.18%	0.15%
80	1.01E+05	2.45E+05	1.01E+05	2.44E+05	0.10%	0.08%
120	1.20E+05	2.86E+05	1.20E+05	2.86E+05	0.10%	0.09%
157	8.69E+04	1.96E+05	8.73E+04	1.97E+05	0.48%	0.42%

Tabla III-7: Comparación de resultados de presiones para Caso 2.

	Caso 2					
	Modelo 1 (ETABS)		Modelo 1 (Manual)		% Diferencia	
<i>z</i> (ft)	Mt(lb-ft) Eje-x	Mt(lb-ft) Eje-y	Mt(lb-ft) Eje-x	Mt(lb-ft) Eje-y	Eje-x	Eje-y
15	4.90E+05	2.50E+06	4.76E+05	2.44E+06	2.92%	2.28%
30	6.32E+05	3.16E+06	6.32E+05	3.16E+06	0.07%	0.06%
50	9.95E+05	4.88E+06	9.93E+05	4.87E+06	0.18%	0.15%
80	1.52E+06	7.34E+06	1.52E+06	7.33E+06	0.10%	0.08%
120	1.80E+06	8.57E+06	1.80E+06	8.58E+06	0.10%	0.09%
157	1.30E+06	5.88E+06	1.31E+06	5.91E+06	0.48%	0.42%

El Caso 3 corresponde a los mismos resultados de las presiones en el Caso 2 aplicándolas en el mismo momento a ambas direcciones. Sin embargo, existe una invarianza con respecto a cómo se debería de calcular manualmente, ya que ETABS dentro de las 12 combinaciones de casos que analiza, dos de ellos correspondientes al caso 3 establecido en la ASCE7-2016, aplica ambas cargas a la misma vez, pero una de ellas no corresponde al valor establecido, sino que un caso aplica la carga en uno de los ejes de dirección que corresponde al valor normado, pero con otra carga de valor diferente en el otro eje, ocurriendo de igual manera para el segundo caso, pero de manera inversa para los ejes.

En el caso 4, ETABS cuenta con cuatro combinaciones para él, y al igual que el caso 3 hace el mismo cálculo y existe una diferencia en las combinaciones derivadas (9,10,11 y 12).

Tabla III-8: Comparación de resultados de presiones para Caso 4.

z (ft)	Caso 4					
	Modelo 1 (ETABS) (Combinación 9/12)		Modelo 1 (Manual)		% Diferencia	
	P(lb) Eje-x	P(lb) Eje-y	P(lb) Eje-x	P(lb) Eje-y	Eje-x	Eje-y
15	2.45E+04	4.90E+04	2.38E+04	6.11E+04	2.92%	19.82%
30	3.16E+04	6.33E+04	3.16E+04	7.90E+04	0.07%	19.88%
50	4.98E+04	9.96E+04	4.97E+04	1.22E+05	0.18%	18.31%
80	7.60E+04	1.52E+05	7.60E+04	1.83E+05	0.10%	17.09%
120	8.99E+04	1.80E+05	9.00E+04	2.15E+05	0.10%	16.23%
157	6.53E+04	1.31E+05	6.56E+04	1.48E+05	0.48%	11.69%

Tabla III-9: Comparación de resultados de presiones para Caso 4.

z (ft)	Caso 4		
	Modelo 1 (ETABS) (Combinación 9/12)	Modelo 1 (Manual)	% Diferencia
	Mt (lb-ft)	Mt (lb-ft)	Mt
15	1.84E+06	2.19E+06	16.11%
30	2.37E+06	2.84E+06	16.55%
50	3.74E+06	4.40E+06	15.18%
80	5.70E+06	6.64E+06	14.14%
120	6.74E+06	7.79E+06	13.44%
157	4.89E+06	5.42E+06	9.66%

Tabla III-10: Comparación de resultados de presiones para Caso 4.

z (ft)	Caso 4					
	Modelo 1 (ETABS) (Combinación 11/12)		Modelo 1 (Manual)		% Diferencia	
	P(lb) Eje-x	P(lb) Eje-y	P(lb) Eje-x	P(lb) Eje-y	Eje-x	Eje-y
15	3.12E+04	6.25E+04	2.38E+04	6.11E+04	31.28%	2.28%
30	3.95E+04	7.90E+04	3.16E+04	7.90E+04	24.98%	0.06%
50	6.11E+04	1.22E+05	4.97E+04	1.22E+05	22.81%	0.15%
80	9.18E+04	1.84E+05	7.60E+04	1.83E+05	20.83%	0.08%
120	1.07E+05	2.14E+05	9.00E+04	2.15E+05	19.15%	0.09%
157	7.36E+04	1.47E+05	6.56E+04	1.48E+05	12.22%	0.42%

Tabla III-11: Comparación de resultados de presiones para Caso 4.

z (ft)	Caso 4		
	Modelo 1 (ETABS) (Combinación 11/12)	Modelo 1 (Manual)	% Diferencia
	Mt (lb-ft)	Mt (lb-ft)	Mt
15	2.34E+06	2.19E+06	7.00%
30	2.96E+06	2.84E+06	4.22%
50	4.58E+06	4.40E+06	3.98%
80	6.88E+06	6.64E+06	3.64%
120	8.04E+06	7.79E+06	3.25%
157	5.52E+06	5.42E+06	1.87%

Se observa de forma clara lo comentado anteriormente, donde existe mayor diferencia ya que no se aplican las mismas cargas al mismo tiempo, las cuales no producen el mismo momento torsor.

De manera general para la mayoría de los casos, como se muestra en los resultados, la diferencia entre las dos formas de calcular la carga está por debajo del 5%, siendo prácticamente despreciables, presentándose mayormente donde existe cambio en el área a analizar después de los 4.6 m (15 ft) de altura e inferior, ya que esto se debe que comprenden comportamientos diferente en la determinación de las cargas.

III.2 Resultados y análisis de los Modelos realizados.

Se presentan los resultados del Modelo 5, y los obtenidos de los modelos 2,3 y 4 se muestran en los Anexos del documento.

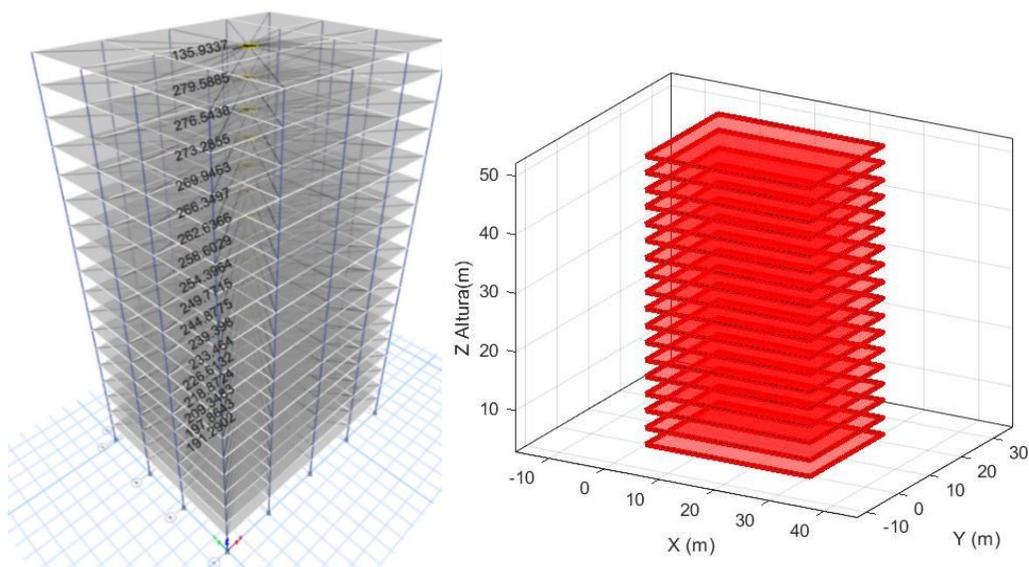


Figura III.2: Estructura del Modelo 5

Siguiendo la misma metodología utilizada en el Modelo 1 se presentan las características del Modelo 5:

- Tipo de Edificación: Edificio de 18 pisos destinado a oficinas.
- Velocidad Básica del viento: $V = 140 \text{ mph} = 62.59 \text{ m/s}$
- Categoría de Exposición: B (Zona suburbana)
- Dimensiones en planta, en este caso no se presenta parapeto:

$$B_x = 23 \text{ m} \quad L_x = 30 \text{ m} \quad B_y = 30 \text{ m} \quad L_y = 23 \text{ m}$$

$$h = 52.2 \text{ m} \quad z = 52.2 \text{ m}$$

- Frecuencia natural: 0.56 Hz, por lo que estamos en presencia de un edificio flexible.
- Factor de Ráfaga: $G = 1.45$
- Factor topográfico: $K_{zt} = 1.0$
- Factor de elevación del terreno: $K_e = 1.0$
- Factor de direccionalidad del viento: $K_d = 0.85$
- $GC_{pi} = \pm 0.18$ (Edificio Cerrado).

Utilizando las mismas expresiones para la determinación de los coeficientes de presiones de velocidad k_z , se determinan las presiones de velocidades de viento q_z y q_h (kN/m^2) para barlovento y sotavento, y se muestran que comprende una distribución real en dependencia la altura y del comportamiento, como se muestra en la Fig. III.3.

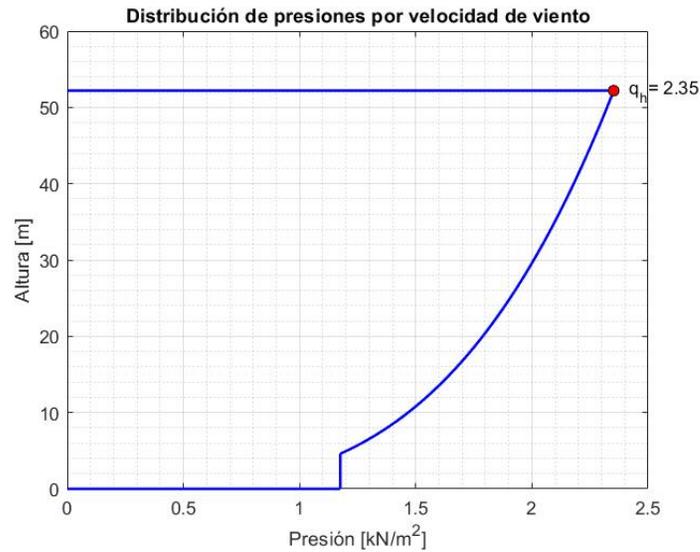


Figura III.3: Distribución de presiones por velocidad de viento.

$$q_h = 2.35 \text{ kN/m}^2$$

Para la dirección a barlovento q_z se tienen resultados con distribución parabólica desde la altura mínima de 4.6 m, y un comportamiento rectangular hacia la base de la estructura como se muestra en la Fig.III.3. Para las cargas a sotavento (no reflejadas explícitamente en la Fig.III.3) presentan presiones q_h bajo un comportamiento de distribución rectangular en toda la altura h .

En las caras perpendiculares a la acción del viento (presiones laterales) y en el techo de la estructura, también se presenta una distribución del tipo rectangular (distribuidas horizontal y verticalmente en dicha área respectivamente).

Para el cálculo de las presiones de viento se tienen los coeficientes de presión externa:

$C_{p,\text{barlovento}} = 0.8$, $C_{p,\text{sotavento-x}} = -0.44$, $C_{p,\text{sotavento-y}} = -0.5$ mostrándose los resultados de las presiones de viento en cada superficie y dirección en la Tabla III-10,

para luego de aplicar el procedimiento descrito en la Sección II.3 del documento y realizar las comparaciones con los resultados obtenidos en ETABS.

Tabla III-12: Presiones de viento Modelo 5.

Dirección del viento	Distancia (m)	Presión Externa (kN/m ²)		Presión Interna (kN/m ²)
		Eje x	Eje y	Interna
Barlovento	3	2.73	2.73	±0.423
	5.8	2.69	2.69	±0.423
	8.8	2.64	2.64	±0.423
	11.6	2.60	2.60	±0.423
	14.6	2.54	2.54	±0.423
	17.4	2.49	2.49	±0.423
	20.4	2.43	2.43	±0.423
	23.2	2.38	2.38	±0.423
	26.2	2.31	2.31	±0.423
	29	2.24	2.24	±0.423
	32	2.17	2.17	±0.423
	34.8	2.09	2.09	±0.423
	37.8	2.00	2.00	±0.423
	40.6	1.90	1.90	±0.423
	43.6	1.78	1.78	±0.423
	46.4	1.64	1.64	±0.423
	49.4	1.46	1.46	±0.423
52.2	1.37	1.37	±0.423	
Sotavento	52.2	-1.5	-1.71	±0.423
Techo	0-h/2	-3.55	-3.55	±0.423
	>h/2	-2.39	-2.39	±0.423

En los resultados mostrados en la Tabla III.12 y la Fig.III.3, se ratifica una vez más que a medida que aumenta la altura, las presiones de viento son mayores

Tabla III-13: Comparación de presiones del Caso 1 Modelo 5.

	Caso 1					
	Modelo 5 (ETABS)		Modelo 5 (Manual)		% Diferencia	
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Eje-x	Eje-y
3	191.29	267.61	191.13	267.39	0.08%	0.08%
5.8	197.86	276.19	197.44	275.62	0.22%	0.21%
8.8	209.35	291.16	209.39	291.21	0.02%	0.02%
11.6	218.87	303.59	218.76	303.43	0.05%	0.05%
14.6	226.61	313.68	226.57	313.61	0.02%	0.02%
17.4	233.46	322.62	233.32	322.43	0.06%	0.06%
20.4	239.40	330.36	239.32	330.24	0.03%	0.04%
23.2	244.88	337.51	244.72	337.30	0.06%	0.06%
26.2	249.77	343.89	249.67	343.75	0.04%	0.04%
29	254.40	349.92	254.24	349.70	0.06%	0.06%
32	258.60	355.41	258.49	355.25	0.04%	0.05%
34.8	262.64	360.67	262.47	360.44	0.06%	0.06%
37.8	266.35	365.51	266.22	365.34	0.05%	0.05%
40.6	269.95	370.21	269.78	369.97	0.06%	0.06%
43.6	273.29	374.56	273.15	374.38	0.05%	0.05%
46.4	276.54	378.81	276.37	378.57	0.06%	0.06%
49.4	279.59	382.78	279.45	382.59	0.05%	0.05%
52.2	135.93	186.04	135.97	186.09	0.03%	0.02%

Tabla III-14: Comparación de presiones del Caso 2 Modelo 5.

Caso 2							
		Modelo 5 (ETABS)		Modelo 5 (Manual)		% Diferencia	
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Eje-x	Eje-y	
3	143.47	200.71	143.35	200.54	0.08%	0.08%	
5.8	148.40	207.14	148.08	206.71	0.22%	0.21%	
8.8	157.01	218.37	157.04	218.41	0.02%	0.02%	
11.6	164.15	227.69	164.07	227.57	0.05%	0.05%	
14.6	169.96	235.26	169.92	235.21	0.02%	0.02%	
17.4	175.10	241.97	174.99	241.82	0.06%	0.06%	
20.4	179.55	247.77	179.49	247.68	0.03%	0.04%	
23.2	183.66	253.13	183.54	252.97	0.06%	0.06%	
26.2	187.33	257.92	187.25	257.81	0.04%	0.04%	
29	190.80	262.44	190.68	262.28	0.06%	0.06%	
32	193.95	266.56	193.87	266.44	0.04%	0.05%	
34.8	196.98	270.50	196.85	270.33	0.06%	0.06%	
37.8	199.76	274.14	199.67	274.01	0.05%	0.05%	
40.6	202.46	277.65	202.33	277.48	0.06%	0.06%	
43.6	204.96	280.92	204.86	280.78	0.05%	0.05%	
46.4	207.41	284.11	207.28	283.93	0.06%	0.06%	
49.4	209.69	287.09	209.59	286.94	0.05%	0.05%	
52.2	101.95	139.53	101.98	139.56	0.03%	0.02%	

Tabla III-15: Comparación de presiones del Caso 2 Modelo 5.

Caso 2							
		Modelo 5 (ETABS)		Modelo 5 (Manual)		% Diferencia	
z (ft)	Mt (kN-m) Eje-x	Mt (kN-m) Eje-y	Mt (kN-m) Eje-x	Mt (kN-m) Eje-y	Eje-x	Eje-y	
3	494.96	903.19	494.55	902.45	0.08%	0.08%	
5.8	511.97	932.13	510.87	930.21	0.22%	0.21%	
8.8	541.69	982.68	541.80	982.84	0.02%	0.02%	
11.6	566.33	1024.61	566.04	1024.07	0.05%	0.05%	
14.6	586.36	1058.68	586.24	1058.44	0.02%	0.02%	
17.4	604.09	1088.84	603.72	1088.19	0.06%	0.06%	
20.4	619.44	1114.97	619.23	1114.57	0.03%	0.04%	
23.2	633.62	1139.09	633.22	1138.38	0.06%	0.06%	
26.2	646.28	1160.63	646.02	1160.15	0.04%	0.04%	
29	658.25	1180.99	657.84	1180.25	0.06%	0.06%	
32	669.14	1199.51	668.84	1198.96	0.04%	0.05%	
34.8	679.57	1217.27	679.14	1216.50	0.06%	0.06%	
37.8	689.18	1233.61	688.85	1233.02	0.05%	0.05%	
40.6	698.49	1249.44	698.05	1248.66	0.06%	0.06%	
43.6	707.13	1264.14	706.78	1263.52	0.05%	0.05%	
46.4	715.56	1278.49	715.11	1277.69	0.06%	0.06%	
49.4	723.44	1291.89	723.07	1291.24	0.05%	0.05%	
52.2	351.73	627.90	351.82	628.04	0.03%	0.02%	

Tabla III-16: Comparación de presiones del Caso 4 Modelo 5.

Caso 4									
	Modelo 5 (ETABS) (Combinación 9/12)			Modelo 5 (Manual)			% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	Eje-x	Eje-y	Mt
3	107.70	140.47	1003.68	107.61	150.54	1048.68	0.08%	6.69%	4.29%
5.8	111.40	145.30	1038.18	111.16	155.17	1081.77	0.22%	6.36%	4.03%
8.8	117.86	153.73	1098.43	117.89	163.95	1144.50	0.02%	6.23%	4.03%
11.6	123.23	160.73	1148.41	123.16	170.83	1193.65	0.05%	5.91%	3.79%
14.6	127.58	166.41	1189.02	127.56	176.56	1234.61	0.02%	5.75%	3.69%
17.4	131.44	171.44	1224.97	131.36	181.53	1270.06	0.06%	5.55%	3.55%
20.4	134.78	175.80	1256.10	134.73	185.93	1301.50	0.03%	5.45%	3.49%
23.2	137.87	179.83	1284.85	137.78	189.90	1329.88	0.06%	5.30%	3.39%
26.2	140.62	183.42	1310.53	140.56	193.53	1355.83	0.04%	5.22%	3.34%
29	143.23	186.82	1334.80	143.13	196.88	1379.79	0.06%	5.11%	3.26%
32	145.59	189.90	1356.87	145.53	200.00	1402.10	0.04%	5.05%	3.23%
34.8	147.86	192.87	1378.03	147.77	202.93	1423.00	0.06%	4.96%	3.16%
37.8	149.95	195.59	1397.51	149.88	205.69	1442.69	0.05%	4.91%	3.13%
40.6	151.98	198.23	1416.39	151.88	208.30	1461.33	0.06%	4.83%	3.08%
43.6	153.86	200.69	1433.91	153.78	210.77	1479.04	0.05%	4.79%	3.05%
46.4	155.69	203.08	1451.00	155.60	213.14	1495.93	0.06%	4.72%	3.00%
49.4	157.41	205.32	1466.98	157.33	215.40	1512.08	0.05%	4.68%	2.98%
52.2	76.53	99.82	713.23	76.55	104.77	735.55	0.03%	4.72%	3.03%

Tabla III-17: Comparación de presiones del Caso 4 Modelo 5.

Caso 4									
	Modelo 5 (ETABS) (Combinación 11/12)			Modelo 5 (Manual)			% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	Eje-x	Eje-y	Mt
3	115.51	150.66	1076.50	107.61	150.54	1048.68	7.34%	0.08%	2.65%
5.8	119.21	155.49	1110.99	111.16	155.17	1081.77	7.25%	0.21%	2.70%
8.8	125.68	163.93	1171.25	117.89	163.95	1144.50	6.61%	0.02%	2.34%
11.6	131.04	170.92	1221.22	123.16	170.83	1193.65	6.40%	0.05%	2.31%
14.6	135.40	176.60	1261.84	127.56	176.56	1234.61	6.15%	0.02%	2.21%
17.4	139.25	181.64	1297.78	131.36	181.53	1270.06	6.01%	0.06%	2.18%
20.4	142.59	185.99	1328.92	134.73	185.93	1301.50	5.83%	0.04%	2.11%
23.2	145.68	190.02	1357.67	137.78	189.90	1329.88	5.73%	0.06%	2.09%
26.2	148.43	193.61	1383.35	140.56	193.53	1355.83	5.60%	0.04%	2.03%
29	151.04	197.01	1407.61	143.13	196.88	1379.79	5.52%	0.06%	2.02%
32	153.41	200.10	1429.69	145.53	200.00	1402.10	5.41%	0.05%	1.97%
34.8	155.68	203.06	1450.85	147.77	202.93	1423.00	5.35%	0.06%	1.96%
37.8	157.77	205.78	1470.33	149.88	205.69	1442.69	5.26%	0.05%	1.92%
40.6	159.79	208.43	1489.20	151.88	208.30	1461.33	5.21%	0.06%	1.91%
43.6	161.67	210.88	1506.72	153.78	210.77	1479.04	5.13%	0.05%	1.87%
46.4	163.51	213.27	1523.82	155.60	213.14	1495.93	5.08%	0.06%	1.86%
49.4	165.22	215.51	1539.79	157.33	215.40	1512.08	5.02%	0.05%	1.83%
52.2	80.30	104.74	748.39	76.55	104.77	735.55	4.90%	0.02%	1.75%

En las comparaciones realizadas entre ambas formas de solución, mantienen diferencias prácticamente despreciables. De igual manera se presenta para el caso 3 y 4 lo abordado (en el Modelo 1) con respecto a los resultados de ETABS.

Los modelos anexados (Modelo 2,3 y 4) también comparten la misma tendencia en cuanto a los resultados (coincidiendo para ambas formas de solución) llegando a una mayor claridad y veracidad con el trabajo realizado.

IV. CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos y el estudio de los procedimientos de cálculo de la carga de viento, es posible concluir que:

- Los cálculos realizados de forma manual siguiendo las especificaciones de ASCE7-2016 coinciden con los resultados obtenidos por el software ETABS.
- Los resultados obtenidos del Modelo 1, ejemplo perteneciente a la referencia (Coulbourne & Stafford, 2016), coinciden con los determinados en el modelo realizado de forma manual, y estos a su vez con y en el software ETABS; validando así los resultados de las herramientas utilizadas.
- Los resultados de los 4 modelos restantes (Modelos 2 al 5), obtenidos mediante la herramienta manual, coincidieron con los alcanzados mediante el análisis de cargas automáticas laterales de viento por exposición a los diafragmas realizados por ETABS.
- Estos resultados comprenden una relativamente pequeña diferencia en algunos casos en términos de las magnitudes estructurales. Esta diferencia se debe al cambio relativamente brusco en las presiones del viento a 4.6 m (15ft) de altura.
- El software ETABS tiene como inconveniente que no determina automáticamente las cargas verticales de viento para el techo, siendo necesaria su introducción de manera manual.
- Los resultados obtenidos mediante ETABS no contemplan la presión interna del viento en la edificación.
- Los resultados comprueban como a medida que aumenta la altura del edificio, las presiones de viento son mayores.

IV.1 Futuras investigaciones

Para futuras investigaciones sería interesante comprobar estructuras con mayor nivel de complejidad geométrica entre ellas, modelos irregulares con variación en las bases de entepiso, y realizar con ello análisis de los desplazamientos producto a la acción de estas cargas de viento.

BIBLIOGRAFIA

ASCE7-16. (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers.

BLANCARTE, S. R. (2018). *Estudio de los efectos del viento en edificio irregular de gran altura con pruebas experimentales en túnel de viento*. Tesis Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

COMPUTERS AND STRUCTURES, I. (2021). *Lateral Loads Manual ETABS, Analisis and Desing of Building Systems,ETABS Version 19*. Berkeley,California, USA.

CONDORI UCHIRI, G. V. (2014). *Comportamiento Sísmico Lineal y No-lineal, en el análisis y diseño estructural de un edificio alto, con disipadores de energía e interacción suelo-estructura*. Arequipa, Tesis Ingeniero Civil, Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente,Universidad Católica de Santa María.

COULBOURNE, W., & STAFFORD, T. E. (2016). *Wind Loads: Guide to the Wind Load Provisions of ASCE 7-16*. American Society of Civil Engineers.

CRISTIAN CRUZ, E. M. (2017). *Evaluation of the Rayleigh damping model for buildings*. USA: Journal of Structural Engineering.

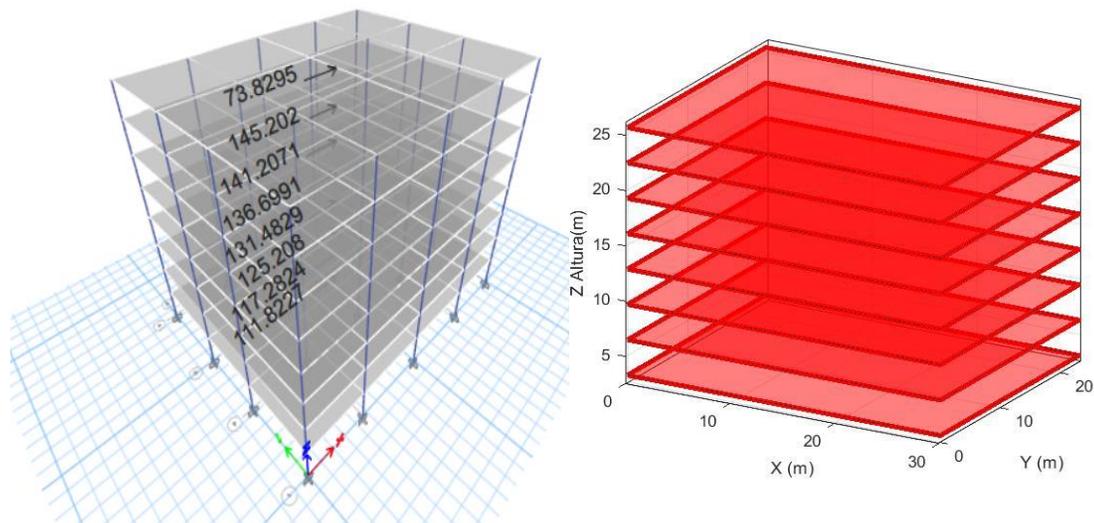
FERNÁNDEZ, P. A. (2020). *Ubicación optima de outriggers en edificios prismáticos de gran altura*. Santiago de Chile, Tesis de Mgtr, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.

PEIFU XU, C. X. (2016). *Relationship between Natural Vibration Periods and Structural Heights for High-rise Buildings in China. Volume 3 (Number 1)*. Beijing, China: International Journal of High-Rise Buildings .

TOLEDO, A. (2015). *Diseño de edificios altos por cargas de viento*. Quito, Tesis Ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Ecuador.

ANEXOS

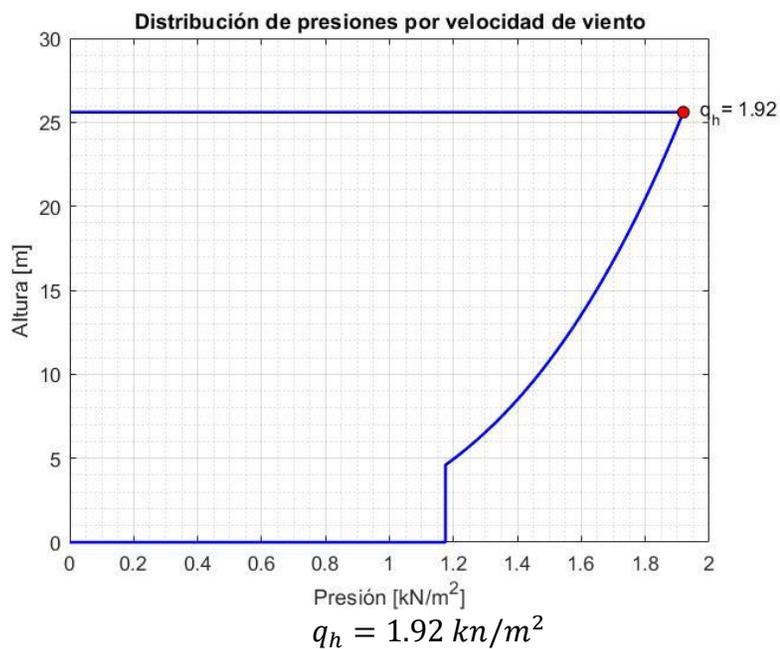
ANEXO A: RESULTADOS DEL MODELO 2



- Tipo de Edificación: Edificio 8 pisos para oficinas
- Velocidad Básica del viento: $V = 140 \text{ mph} = 62.59 \text{ m/s}$
- Categoría de Exposición: B (Zona suburbana)
- Dimensiones en planta, en este caso no se presenta parapeto:

$$B_x = 23\text{m} \quad L_x = 30\text{m} \quad B_y = 30\text{m} \quad L_y = 23\text{m} \quad h = 25.6\text{m} \quad z = 25.6\text{m}$$

- Frecuencia natural: 1.04 Hz.
- Factor de Ráfaga: $G = 0.85$
- Factor topográfico: $K_{zt} = 1.0$
- Factor de elevación del terreno: $K_e = 1.0$
- Factor de direccionalidad del viento: $K_d = 0.85$



Entonces $GC_{pi} = \pm 0.18$ para el cálculo de la presión interna del viento en el edificio.

Y $C_{p,barlovento} = 0.8$, $C_{p,sotavento-x} = -0.44$, $C_{p,sotavento-y} = -0.5$

Presiones en la superficie en cada dirección analizada Modelo 2

		Presión Externa de viento (kN/m ²)		Presión Interna (kN/m ²)
Dirección del viento	Distancia (m)	Eje x	Eje y	Interna
Barlovento	3.2	1.30	1.30	±0.345
	6.4	1.26	1.26	±0.345
	9.6	1.20	1.20	±0.345
	12.8	1.14	1.14	±0.345
	16	1.07	1.07	±0.345
	19.2	0.99	0.99	±0.345
	22.4	0.88	0.88	±0.345
	25.6	0.80	0.80	±0.345

		Presión Externa de viento (kN/m ²)		Presión Interna (kN/m ²)
Dirección del viento	Distancia (m)	Eje x	Eje y	Interna
Sotavento	25.6	-1.72	-0.82	±0.345
Techo	0-h/2	-1.63	-1.7	±0.345
	h/2-h	-1.24	-1.14	±0.345
	h-2h	-1.046	-	

Comparación de presiones del Caso 1 Modelo 2.

Caso 1							
		Modelo 2 (ETABS)		Modelo 2 (Manual)		% Diferencia	
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Eje-x	Eje-y	
3.20	111.82	155.39	111.54	155.02	0.25%	0.24%	
6.40	117.28	162.51	117.20	162.40	0.07%	0.07%	
9.60	125.21	172.85	125.21	172.85	0.00%	0.00%	
12.80	131.48	181.04	131.45	180.99	0.02%	0.03%	
16.00	136.70	187.84	136.65	187.77	0.03%	0.04%	
19.20	141.21	193.72	141.15	193.64	0.04%	0.04%	
22.40	145.20	198.93	145.14	198.84	0.04%	0.05%	
25.60	73.83	101.07	73.94	101.21	0.15%	0.14%	

Comparación de presiones del Caso 2 Modelo 2.

Caso 2						
Modelo 2 (ETABS)		Modelo 2 (Manual)		% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Eje-x	Eje-y
3.2	83.87	116.54	83.66	116.27	0.25%	0.24%
6.4	87.96	121.88	87.90	121.80	0.07%	0.07%
9.6	93.91	129.64	93.91	129.63	0.00%	0.00%
12.8	98.61	135.78	98.59	135.74	0.02%	0.03%
16	102.52	140.88	102.49	140.83	0.03%	0.04%
19.2	105.91	145.29	105.86	145.23	0.04%	0.04%
22.4	108.90	149.20	108.85	149.13	0.04%	0.05%
25.6	55.37	75.80	55.45	75.91	0.15%	0.14%

Comparación de presiones del Caso 2 Modelo 2.

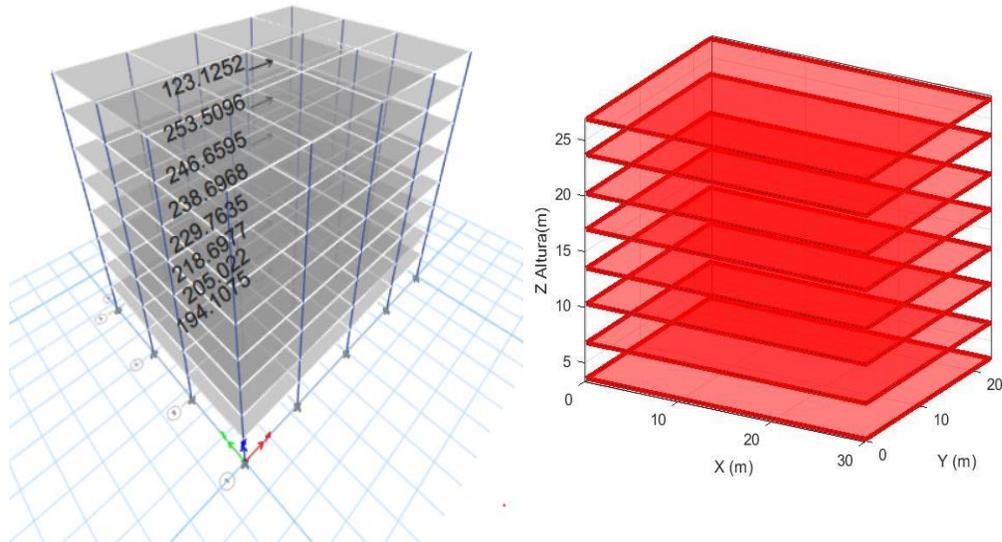
Caso 2						
Modelo 2 (ETABS)		Modelo 2 (Manual)		% Diferencia		
z (ft)	Mt (x) (kN-m)	Mt (y) (kN-m)	Mt (x) (kN-m)	Mt (y) (kN-m)	Eje-x	Eje-y
3.2	289.34	524.45	288.62	523.21	0.25%	0.24%
6.4	303.47	548.48	303.26	548.10	0.07%	0.07%
9.6	323.98	583.37	323.98	583.36	0.00%	0.00%
12.8	340.21	610.99	340.13	610.84	0.02%	0.03%
16	353.71	633.96	353.59	633.73	0.03%	0.04%
19.2	365.37	653.80	365.22	653.53	0.04%	0.04%
22.4	375.71	671.39	375.54	671.08	0.04%	0.05%
25.6	191.03	341.10	191.32	341.57	0.15%	0.14%

Comparación de presiones del Caso 4 Modelo 2.

Caso 4									
	Modelo 2 (ETABS) (Combinación 9/12)			Modelo 2 (Manual)			% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	Eje-x	Eje-y	Mt
3.2	62.96	82.12	586.72	62.80	87.28	609.41	0.25%	5.91%	3.72%
6.4	66.03	86.13	615.37	65.98	91.43	639.09	0.07%	5.80%	3.71%
9.6	70.49	91.95	656.96	70.49	97.31	681.10	0.00%	5.51%	3.55%
12.8	74.02	96.55	689.88	74.01	101.90	713.86	0.02%	5.24%	3.36%
16	76.96	100.38	717.25	76.93	105.72	741.14	0.03%	5.04%	3.22%
19.2	79.50	103.70	740.90	79.47	109.02	764.74	0.04%	4.88%	3.12%
22.4	81.75	106.63	761.86	81.71	111.95	785.67	0.04%	4.75%	3.03%
25.6	41.57	54.22	387.38	41.63	56.98	400.02	0.15%	4.85%	3.16%

Caso 4									
	Modelo 2 (ETABS) (Combinación 11/12)			Modelo 2 (Manual)			% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	Eje-x	Eje-y	Mt
3.2	67.07	87.49	625.08	62.80	87.28	609.41	6.80%	0.24%	2.57%
6.4	70.15	91.49	653.73	65.98	91.43	639.09	6.31%	0.07%	2.29%
9.6	74.61	97.32	695.32	70.49	97.31	681.10	5.84%	0.00%	2.09%
12.8	78.14	101.92	728.24	74.01	101.90	713.86	5.59%	0.03%	2.01%
16	81.08	105.75	755.61	76.93	105.72	741.14	5.38%	0.04%	1.95%
19.2	83.62	109.06	779.26	79.47	109.02	764.74	5.22%	0.04%	1.90%
22.4	85.86	112.00	800.22	81.71	111.95	785.67	5.08%	0.05%	1.85%
25.6	43.62	56.90	406.56	41.63	56.98	400.02	4.80%	0.14%	1.63%

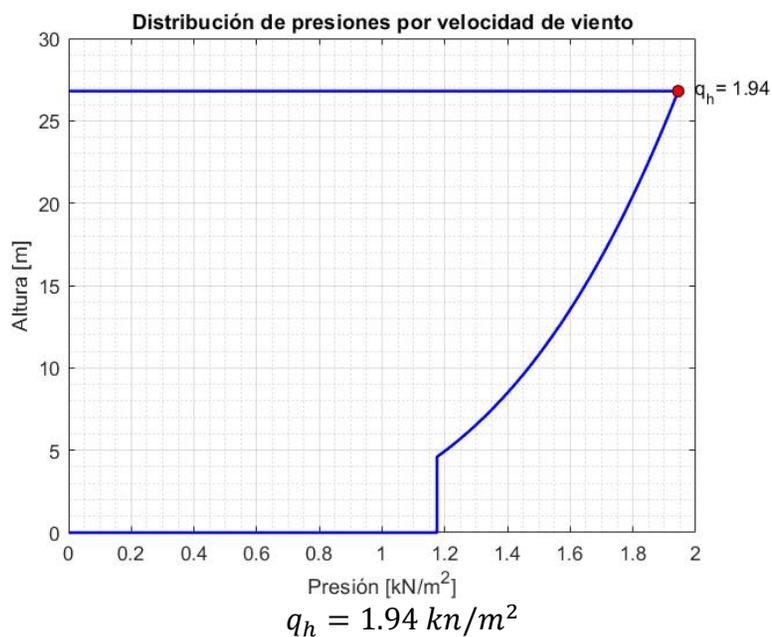
ANEXO B: RESULTADOS DEL MODELO 3



- Tipo de Edificación: Edificio 8 pisos para oficinas
- Velocidad Básica del viento: $V = 140 \text{ mph} = 62.59 \text{ m/s}$
- Categoría de Exposición: B (Zona suburbana)
- Dimensiones en planta, en este caso no se presenta parapeto:

$$B_x = 23\text{m} \quad L_x = 30\text{m} \quad B_y = 30\text{m} \quad L_y = 23\text{m} \quad h = 26.8\text{m} \quad z = 26.8\text{m}$$

- Frecuencia natural: 0.98 Hz.
- Factor de Ráfaga: $G = 1.4$
- Factor topográfico: $K_{zt} = 1.0$
- Factor de elevación del terreno: $K_e = 1.0$
- Factor de direccionalidad del viento: $K_d = 0.85$



Entonces $GC_{pi} = \pm 0.18$ para el cálculo de la presión interna del viento en el edificio.

Y $C_{pbarlovento} = 0.8$, $C_{psotaventox} = -0.44$, $C_{psotaventoy} = -0.5$

Presiones en la superficie en cada dirección analizada Modelo 3.

Dirección del viento	Distancia (m)	Presión Externa de viento (kN/m ²)		Presión Interna (kN/m ²)
		Eje x	Eje y	Interna
Barlovento	3.5	2.18	2.18	± 0.35
	6.7	2.10	2.10	± 0.35
	10.2	2.00	2.00	± 0.35
	13.4	1.91	1.91	± 0.35
	16.9	1.78	1.78	± 0.35
	20.1	1.65	1.65	± 0.35
	23.6	1.46	1.46	± 0.35
	26.8	1.31	1.31	± 0.35

		Presión Externa de viento (kN/m ²)		Presión Interna (kN/m ²)
Dirección del viento	Distancia (m)	Eje x	Eje y	Interna
Sotavento	26.8	-1.19	-1.35	±0.35
Techo	0-h/2	-2.75	-2.83	±0.35
	h/2-h	-2.02	-1.9	±0.35
	h-2h	-1.79	-	±0.35

Comparación de presiones del Caso 1 Modelo 3.

Caso 1						
		Modelo 3 (ETABS)		Modelo 3 (Manual)		% Diferencia
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Eje-x	Eje-y
3.5	194.11	269.83	193.53	269.07	0.30%	0.28%
6.7	205.02	284.06	204.91	283.91	0.05%	0.05%
10.2	218.70	301.90	218.79	302.02	0.04%	0.04%
13.4	229.76	316.33	229.64	316.16	0.05%	0.05%
16.9	238.69	327.99	238.68	327.96	0.01%	0.01%
20.1	246.66	338.37	246.51	338.17	0.06%	0.06%
23.6	253.51	347.31	253.45	347.22	0.02%	0.03%
26.8	123.13	168.55	123.30	168.77	0.14%	0.13%

Comparación de presiones del Caso 2 Modelo 3.

Caso 2						
Modelo 3 (ETABS)		Modelo 3 (Manual)		% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Eje-x	Eje-y
3.5	145.58	202.37	145.15	201.80	0.30%	0.28%
6.7	153.77	213.05	153.68	212.93	0.05%	0.05%
10.2	164.02	226.43	164.09	226.51	0.04%	0.04%
13.4	172.32	237.25	172.23	237.12	0.05%	0.05%
16.9	179.02	245.99	179.01	245.97	0.01%	0.01%
20.1	184.99	253.78	184.88	253.62	0.06%	0.06%
23.6	190.13	260.48	190.09	260.42	0.02%	0.03%
26.8	92.34	126.41	92.47	126.58	0.14%	0.13%

Caso 2						
Modelo 3 (ETABS)		Modelo 3 (Manual)		% Diferencia		
z (ft)	Mt (x) kN-m	Mt (y) (kN-m)	Mt (x) (kN-m)	Mt (y) (kN-m)	Eje-x	Eje-y
3.5	502.25	910.66	500.76	908.10	0.30%	0.28%
6.7	530.49	958.71	530.20	958.19	0.05%	0.05%
10.2	565.88	1018.91	566.13	1019.30	0.04%	0.04%
13.4	594.51	1067.63	594.19	1067.05	0.05%	0.05%
16.9	617.63	1106.95	617.59	1106.85	0.01%	0.01%
20.1	638.23	1142.01	637.84	1141.31	0.06%	0.06%
23.6	655.96	1172.16	655.80	1171.87	0.02%	0.03%
26.8	318.59	568.85	319.03	569.59	0.14%	0.13%

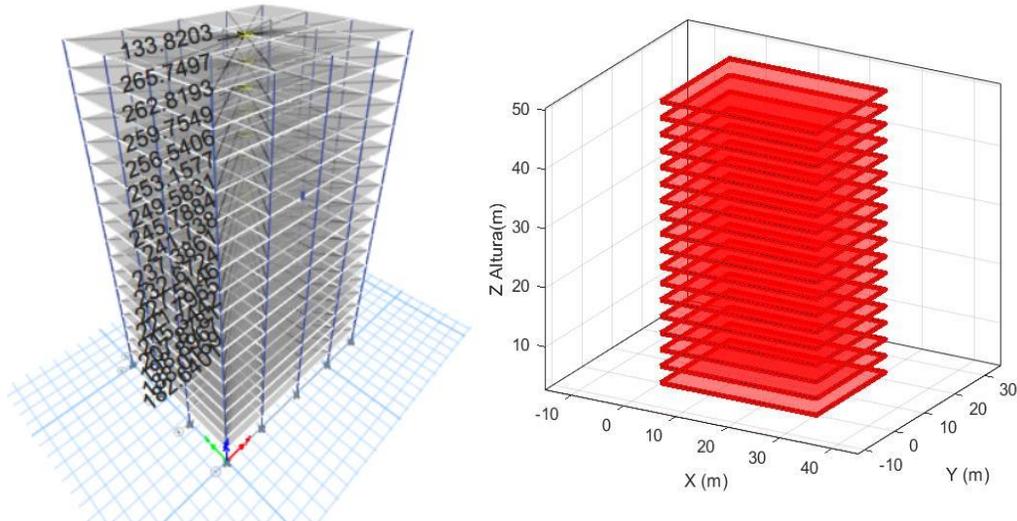
Comparación de presiones del Caso 4 Modelo 3.

Caso 4									
	Modelo 3 (ETABS) (Combinación 9/12)			Modelo 3 (Manual)			% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	Eje-x	Eje-y	Mt
3.5	109.28	142.54	1018.47	108.96	151.48	1057.58	0.30%	5.90%	3.70%
6.7	115.43	150.56	1075.73	115.36	159.84	1117.28	0.05%	5.81%	3.72%
10.2	123.13	160.60	1147.49	123.18	170.03	1190.13	0.04%	5.55%	3.58%
13.4	129.36	168.73	1205.55	129.29	178.00	1247.04	0.05%	5.21%	3.33%
16.9	134.39	175.29	1252.42	134.38	184.64	1294.48	0.01%	5.07%	3.25%
20.1	138.87	181.13	1294.20	138.78	190.39	1335.54	0.06%	4.86%	3.10%
23.6	142.73	186.16	1330.14	142.69	195.49	1371.97	0.02%	4.77%	3.05%
26.8	69.32	90.42	646.03	69.42	95.02	667.06	0.14%	4.84%	3.15%

Comparación de presiones del Caso 4 Modelo 3.

Caso 4									
	Modelo 3 (ETABS) (Combinación 11/12)			Modelo 3 (Manual)			% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	Eje-x	Eje-y	Mt
3.5	109.28	142.54	1018.47	108.96	151.48	1057.58	0.30%	5.90%	3.70%
6.7	115.43	150.56	1075.73	115.36	159.84	1117.28	0.05%	5.81%	3.72%
10.2	123.13	160.60	1147.49	123.18	170.03	1190.13	0.04%	5.55%	3.58%
13.4	129.36	168.73	1205.55	129.29	178.00	1247.04	0.05%	5.21%	3.33%
16.9	134.39	175.29	1252.42	134.38	184.64	1294.48	0.01%	5.07%	3.25%
20.1	138.87	181.13	1294.20	138.78	190.39	1335.54	0.06%	4.86%	3.10%
23.6	142.73	186.16	1330.14	142.69	195.49	1371.97	0.02%	4.77%	3.05%
26.8	69.32	90.42	646.03	69.42	95.02	667.06	0.14%	4.84%	3.15%

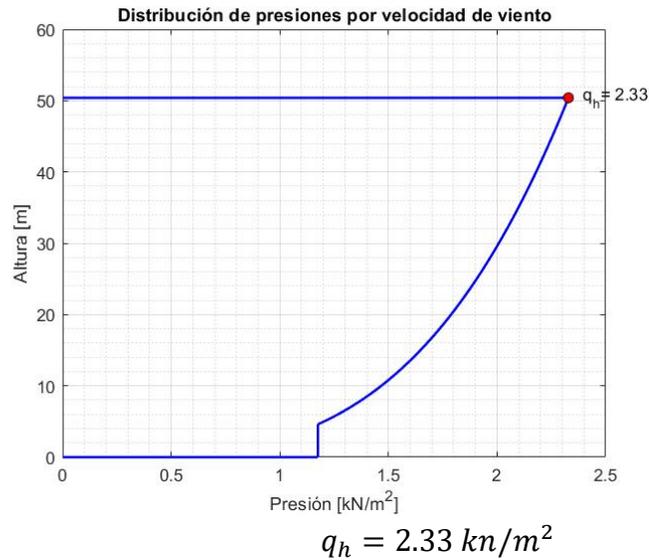
ANEXO C: RESULTADOS DEL MODELO 4



- Tipo de Edificación: Edificio de 18 pisos destinado a oficinas.
- Velocidad Básica del viento: $V = 140 \text{ mph} = 62.59 \text{ m/s}$
- Categoría de Exposición: B (Zona suburbana)
- Dimensiones en planta, en este caso no se presenta parapeto:

$$B_x = 23\text{m} \quad L_x = 30\text{m} \quad B_y = 30\text{m} \quad L_y = 23\text{m} \quad h = 50.4 \quad z = 50.4\text{m}$$

- Frecuencia natural: 0.58 Hz
- Factor de Ráfaga: $G = 1.44$
- Factor topográfico: $K_{zt} = 1.0$
- Factor de elevación del terreno: $K_e = 1.0$
- Factor de direccionalidad del viento: $K_d = 0.85$



Entonces $GC_{pi} = \pm 0.18$ para el cálculo de la presión interna del viento en el edificio.

Y $C_{p,barlovento} = 0.8$, $C_{p,sotavento-x} = -0.44$, $C_{p,sotavento,y} = -0.5$

Presiones en la superficie en cada dirección analizada Modelo 4

Dirección del viento	Distancia (m)	Presión Externa de viento (kN/m ²)		Presión Interna (kN/m ²)
		Eje x	Eje y	Interna
Barlovento	2.8	2.69	2.69	±0.42
	5.6	2.65	2.65	±0.42
	8.4	2.60	2.60	±0.42
	11.2	2.55	2.55	±0.42
	14	2.50	2.50	±0.42
	16.8	2.45	2.45	±0.42
	19.6	2.40	2.40	±0.42
	22.4	2.34	2.34	±0.42
	25.2	2.27	2.27	±0.42

	28	2.21	2.21	±0.42
	30.8	2.13	2.13	±0.42
	33.6	2.05	2.05	±0.42
	36.4	1.97	1.97	±0.42
	39.2	1.87	1.87	±0.42
	42	1.75	1.75	±0.42
	44.8	1.61	1.61	±0.42
	47.6	1.44	1.44	±0.42
	50.4	1.36	1.36	±0.42
Sotavento	52.2	-1.5	-1.71	±0.423
Techo	0-h/2	-3.5	-3.5	±0.42
	>h/2	-2.35	-2.35	±0.42

Comparación de presiones del Caso 1 Modelo 4.

Caso 1						
z (ft)	Modelo 4 (ETABS)		Modelo 4 (Manual)		% Diferencia	
	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Eje-x	Eje-y
2.8	143.47	200.71	143.35	200.54	0.08%	0.08%
5.6	148.40	207.14	148.08	206.71	0.22%	0.21%
8.4	157.01	218.37	157.04	218.41	0.02%	0.02%
11.2	164.15	227.69	164.07	227.57	0.05%	0.05%
14	169.96	235.26	169.92	235.21	0.02%	0.02%
16.8	175.10	241.97	174.99	241.82	0.06%	0.06%
19.6	179.55	247.77	179.49	247.68	0.03%	0.04%
22.4	183.66	253.13	183.54	252.97	0.06%	0.06%
25.2	187.33	257.92	187.25	257.81	0.04%	0.04%
28	190.80	262.44	190.68	262.28	0.06%	0.06%

30.8	193.95	266.56	193.87	266.44	0.04%	0.05%
33.6	196.98	270.50	196.85	270.33	0.06%	0.06%
36.4	199.76	274.14	199.67	274.01	0.05%	0.05%
39.2	202.46	277.65	202.33	277.48	0.06%	0.06%
42	204.96	280.92	204.86	280.78	0.05%	0.05%
44.8	207.41	284.11	207.28	283.93	0.06%	0.06%
47.6	209.69	287.09	209.59	286.94	0.05%	0.05%
50.4	101.95	139.53	101.98	139.56	0.03%	0.02%

Comparación de presiones del Caso 2 Modelo 4.

Caso 2							
		Modelo 4 (ETABS)		Modelo 4 (Manual)		% Diferencia	
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Eje-x	Eje-y	
2.8	136.98	191.58	136.93	191.50	0.04%	0.04%	
5.6	141.01	196.84	140.69	196.40	0.23%	0.22%	
8.4	149.17	207.48	149.17	207.46	0.01%	0.01%	
11.2	155.91	216.27	155.87	216.20	0.03%	0.03%	
14	161.51	223.57	161.45	223.48	0.04%	0.04%	
16.8	166.35	229.88	166.28	229.78	0.04%	0.04%	
19.6	170.64	235.47	170.56	235.37	0.05%	0.05%	
22.4	174.50	240.52	174.42	240.40	0.05%	0.05%	
25.2	178.04	245.13	177.95	245.01	0.05%	0.05%	
28	181.30	249.39	181.21	249.26	0.05%	0.05%	
30.8	184.34	253.35	184.25	253.22	0.05%	0.05%	
33.6	187.19	257.06	187.09	256.93	0.05%	0.05%	
36.4	189.87	260.56	189.77	260.42	0.05%	0.05%	
39.2	192.41	263.87	192.30	263.73	0.05%	0.05%	

42	194.82	267.01	194.71	266.87	0.05%	0.05%
44.8	197.11	270.01	197.01	269.87	0.05%	0.05%
47.6	199.31	272.88	199.20	272.73	0.05%	0.05%
50.4	100.37	137.36	100.40	137.40	0.03%	0.03%

Caso 2							
		Modelo 4 (ETABS)		Modelo 4 (Manual)		% Diferencia	
z (ft)	Mt (kN-m) Eje-x	Mt (kN-m) Eje-y	Mt (kN-m) Eje-x	Mt (kN-m) Eje-y	Eje-x	Eje-y	
2.8	472.58	862.09	472.40	861.75	0.04%	0.04%	
5.6	486.49	885.76	485.37	883.82	0.23%	0.22%	
8.4	514.65	933.66	514.62	933.58	0.01%	0.01%	
11.2	537.88	973.19	537.74	972.92	0.03%	0.03%	
14	557.20	1006.06	557.00	1005.68	0.04%	0.04%	
16.8	573.90	1034.46	573.66	1034.02	0.04%	0.04%	
19.6	588.69	1059.64	588.43	1059.15	0.05%	0.05%	
22.4	602.04	1082.34	601.75	1081.82	0.05%	0.05%	
25.2	614.24	1103.09	613.93	1102.54	0.05%	0.05%	
28	625.50	1122.25	625.18	1121.68	0.05%	0.05%	
30.8	635.98	1140.08	635.65	1139.49	0.05%	0.05%	
33.6	645.80	1156.79	645.46	1156.18	0.05%	0.05%	
36.4	655.05	1172.52	654.70	1171.90	0.05%	0.05%	
39.2	663.80	1187.41	663.45	1186.78	0.05%	0.05%	
42	672.12	1201.56	671.76	1200.92	0.05%	0.05%	
44.8	680.05	1215.05	679.68	1214.40	0.05%	0.05%	
47.6	687.63	1227.95	687.26	1227.29	0.05%	0.05%	
50.4	346.26	618.14	346.37	618.31	0.03%	0.03%	

Comparación de presiones del Caso 4 Modelo 4.

Caso 4									
	Modelo 4 (ETABS) (Combinación 9/12)			Modelo 4 (Manual)			% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	Eje-x	Eje-y	Mt
2.8	102.83	134.12	958.30	102.79	143.75	1001.50	0.04%	6.70%	4.31%
5.6	105.85	138.07	986.51	105.61	147.43	1027.81	0.23%	6.35%	4.02%
8.4	111.98	146.06	1043.59	111.97	155.73	1087.11	0.00%	6.21%	4.00%
11.2	117.04	152.65	1090.72	117.00	162.30	1134.00	0.03%	5.94%	3.82%
14	121.24	158.14	1129.89	121.19	167.76	1173.05	0.04%	5.74%	3.68%
16.8	124.87	162.88	1163.75	124.82	172.49	1206.83	0.04%	5.57%	3.57%
19.6	128.09	167.07	1193.75	128.03	176.68	1236.78	0.05%	5.44%	3.48%
22.4	130.99	170.86	1220.81	130.93	180.46	1263.80	0.05%	5.32%	3.40%
25.2	133.65	174.32	1245.54	133.58	183.92	1288.50	0.05%	5.22%	3.33%
28	136.10	177.52	1268.38	136.03	187.11	1311.31	0.05%	5.13%	3.27%
30.8	138.38	180.49	1289.63	138.31	190.08	1332.54	0.05%	5.04%	3.22%
33.6	140.52	183.28	1309.54	140.44	192.87	1352.43	0.05%	4.97%	3.17%
36.4	142.53	185.91	1328.30	142.45	195.49	1371.17	0.05%	4.90%	3.13%
39.2	144.43	188.39	1346.05	144.36	197.97	1388.90	0.05%	4.84%	3.09%
42	146.24	190.75	1362.91	146.16	200.33	1405.76	0.05%	4.78%	3.05%
44.8	147.97	193.00	1378.99	147.89	202.58	1421.82	0.05%	4.73%	3.01%
47.6	149.62	195.15	1394.37	149.54	204.73	1437.19	0.05%	4.68%	2.98%
50.4	75.34	98.27	702.14	75.36	103.14	724.15	0.03%	4.72%	3.04%

Comparación de presiones del Caso 4 Modelo 4.

Caso 4									
	Modelo 4 (ETABS) (Combinación 9/12)			Modelo 4 (Manual)			% Diferencia		
z (ft)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	P(kN) Eje-x	P(kN) Eje-y	Mt (kN-m)	Eje-x	Eje-y	Mt
2.8	110.25	143.81	1027.52	102.79	143.75	1001.50	7.27%	0.04%	2.60%
5.6	113.28	147.76	1055.73	105.61	147.43	1027.81	7.26%	0.22%	2.72%
8.4	119.41	155.75	1112.82	111.97	155.73	1087.11	6.64%	0.01%	2.36%
11.2	124.46	162.34	1159.94	117.00	162.30	1134.00	6.37%	0.03%	2.29%
14	128.67	167.83	1199.11	121.19	167.76	1173.05	6.17%	0.04%	2.22%
16.8	132.30	172.56	1232.97	124.82	172.49	1206.83	5.99%	0.04%	2.17%
19.6	135.52	176.76	1262.97	128.03	176.68	1236.78	5.85%	0.05%	2.12%
22.4	138.42	180.55	1290.03	130.93	180.46	1263.80	5.72%	0.05%	2.08%
25.2	141.08	184.01	1314.77	133.58	183.92	1288.50	5.61%	0.05%	2.04%
28	143.53	187.21	1337.60	136.03	187.11	1311.31	5.51%	0.05%	2.01%
30.8	145.81	190.18	1358.85	138.31	190.08	1332.54	5.42%	0.05%	1.97%
33.6	147.94	192.97	1378.76	140.44	192.87	1352.43	5.34%	0.05%	1.95%
36.4	149.96	195.59	1397.52	142.45	195.49	1371.17	5.27%	0.05%	1.92%
39.2	151.86	198.08	1415.27	144.36	197.97	1388.90	5.20%	0.05%	1.90%
42	153.67	200.44	1432.13	146.16	200.33	1405.76	5.14%	0.05%	1.88%
44.8	155.39	202.69	1448.21	147.89	202.58	1421.82	5.08%	0.05%	1.86%
47.6	157.04	204.84	1463.59	149.54	204.73	1437.19	5.02%	0.05%	1.84%
50.4	79.05	103.11	736.75	75.36	103.14	724.15	4.90%	0.03%	1.74%