



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación Estudios de Posgrado

**NORMATIVA DE PUEBLA Y NORMATIVA ASCE
ANÁLISIS DE NAVE INDUSTRIAL POR SISMO/VIENTO**

TESIS

Que para obtener el grado de
**MAESTRO EN INGENIERÍA CON OPCIÓN TERMINAL EN
ESTRUCTURAS**

Presenta:

Ing. Pablo César Sánchez Rodríguez

Director de tesis: Dr. Filiberto Candia García

Codirector de tesis: M.I. Martín Castillo Flores

Puebla, Pue.

MAYO 2023



Oficio No. SIEP/0056/2023

C. Pablo César Sánchez Rodríguez

Matrícula 221470185

Pasante de la Maestría en Ingeniería

con opción terminal en Estructuras

Facultad de Ingeniería, BUAP.

Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema titulado: **Normativa de Puebla y Normativa ASCE análisis de nave industrial por sismo/viento**. Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Estructuras. Asignándose como Director de tesis al Dr. Filiberto Candia García y Codirector al Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Zaragoza, enero 16 de 2023

M.I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director



C.c.p. Dr. Filiberto Candi García y Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui, Director y Codirector del Tema de Tesis

C.c.p. Archivo

AEPS/JPHT/sco*

Facultad
de Ingeniería

Bld. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610



BUAP

Of. SIEP/067/2023

Mtro. Alfredo Avendaño Arenaza
Director General de Bibliotecas
Presente

Por este medio me permito saludarley, al mismo tiempo, me dirijo a usted para informarle que la tesis con título "Normativa de Puebla y Normativa ASCE análisis de nave industrial por sismo/viento", ha sido avalada bajo los preceptos de integridad académica; por tanto, se autoriza la impresión de tesis del alumno:

Nombre del alumno: Pablo César Sánchez Rodríguez
Matrícula: 221470185
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería con Opción Terminal en Estructuras

Sin más por el momento, agradezco la atención al presente.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z., a 23 de mayo de 2023

M. I. Ana Elena Posada Sánchez
Secretaria de Investigación y Estudios
de Posgrado



Dr. Filiberto Candia García
Director de tesis

M.I. Martín Castillo Flores
Codirector de tesis

Este trabajo va dedicado a cada una de las personas que me han apoyado a lo largo de mi vida y que se mantienen en ella.

A mis padres, María Magdalena y José Manuel, quienes me brindaron todo su apoyo y cariño, gracias a ellos es que he alcanzado todos mis logros, no hay palabras para describir el enorme cariño y agradecimiento que les tengo.

A mis abuelitos, Ofelia y Rufino, quienes siempre me brindaron amor y enseñanzas

*A mi abuelita Rosita,
La persona que más he querido y que ha estado a mi lado desde que tengo memoria, siempre brindándome cariño, apoyo y seguridad.*

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que han demostrado interés y apoyo en mi persona, familia, amigos y docentes.

Agradecer a mis mejores amigos César y Alan, quienes me han brindado su amistad desde hace más de 15 años, y han estado a mi lado en los buenos y malos momentos.

Agradezco a la “Dino Pandilla”, un grupo de personas increíbles con quienes he formado una estrecha y bonita amistad y quienes siempre me han apoyado, Nancy, Dani, Alancin, Sergio, Bere, Deiler, Splat, Oscar, Gaby, Elian y Argenis, gracias por brindarme su amistad e inspirarme a siempre seguir adelante.

Agradezco a mis amigos de la maestría, Ana, Mario e Iván, con quienes compartí este largo y difícil viaje, gracias a ustedes por hacer más divertido y a menos este viaje.

Agradezco a todos mis profesores de la maestría, en especial al M.I. Martín Castillo Flores, al Dr. Filiberto Candía, al Dr. Juan Pablo Hidalgo Toxqui y al Dr. José Camargo Pérez por su esfuerzo y dedicación en compartir sus conocimientos y experiencias para que tenga un mejor desarrollo como persona y como profesional.

Por último, quiero agradecer especialmente a los Ingenieros Manuel Cuatláyotl y Fernando Fernández, quienes fueron los primeros en darme la oportunidad de adentrarme en esta bonita profesión, además de que me brindaron las herramientas para poder concluir con mis estudios.

ÍNDICE

RESUMEN.....	IX
CAPITULO 1: NORMATIVA.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.1.1 Antecedentes de la normativa del Municipio de Puebla.....	3
1.1.2 Antecedente de Normativas en la ciudad de México (Origen de las Normas Técnicas Complementarias)	5
1.1.3 Antecedente Código de Construcción en Estados Unidos	6
1.2 Normativa actual de la República Mexicana	7
1.3 Código Reglamentario Del Municipio De Puebla (COREMUN)	10
1.4 Estándar ASCE 7	12
1.4.1 STANDARD ASCE 7-22 “Cargas Mínimas De Diseño Y Criterios Asociados Para Edificios”	14
1.5 ASCE 7 HAZARD TOOL (HERRAMIENTA DE PELIGRO)	16
1.5.1 COMO UTILIZAR ASCE 7 HAZARD TOOL.....	17
1.5.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ASCE 7 HAZARD TOOL	20
CAPITULO 2. ANALISIS SISMICO DE ACUERDO AL “STANDARD ASCE 7-22”	23
2.1 Requerimientos Generales.....	23
2.1.1 Valores del movimiento sísmico del suelo.....	24
2.1.2 Clase de sitio.....	25
2.1.3 Movimientos de terreno del máximo sismo considerado de objetivo de riesgo (MCER)	25
2.1.4 Espectro de respuesta de diseño.....	27
2.1.5 Categoría de diseño sísmico basado en parámetros de aceleración de respuesta	28
2.1.6 Selección del sistema estructural	29
2.1.7 Selección del procedimiento de análisis	30
2.2. Método de fuerza lateral equivalente	31
2.2.1 Coeficiente de respuesta sísmica C_s	32
2.2.2 Peso sísmico efectivo W	34
2.2.3 Cortante basal sísmica	34
2.2.4 Carga sísmica	35

2.3 . ANALISIS SISMICO DE ACUERDO AL “STANDARD ASCE 7-22” EJEMPLO DE APLICACIÓN.....	36
2.4 Estándar ASCE 7-22 y COREMUN	49
CAPITULO 3. ANALISIS DE CARGAS DE VIENTO DE ACUERDO AL “STANDARD ASCE 7-22”	59
3.1 Requerimientos Generales (Capitulo 26 del standard ASCE 7-22).	60
3.1.1 Velocidad Básica Del Viento “V” (Sección 26.5 del standard ASCE 7-22).	62
3.1.2 Factor de dirección del viento “Kd” (Sección 26.6 del standard ASCE 7-22).	67
3.1.3 Categoría De Exposición (Sección 26.7 del standard ASCE 7-22).....	67
3.1.4 Efectos topográficos -Factor topográfico “Kzt” (Sección 26.8 del standard ASCE 7-22).	71
3.1.5 Factor de elevación del terreno “Ke” (Sección 26.9 del standard ASCE 7-22)..	71
3.1.6 Coeficiente de exposición a la presión de velocidad “Kh” ó “Kz” (Sección 26.10.1 del standard ASCE 7-22).	72
3.1.7 Presión De Velocidad “qz” o “qh” (Sección 26.10.2 del standard ASCE 7-22). 73	
3.1.8 Efectos De Ráfaga (Sección 26.11 del standard ASCE 7-22).	74
3.1.9 Clasificación de encierro (Sección 26.12 del standard ASCE 7-22).	78
3.1.10 Coeficiente de presión interna “GCpi” (Sección 26.13 del standard ASCE 7-22).....	81
3.2 Métodos para el cálculo de fuerzas de viento	82
3.2.1 Coeficiente de presión externa (Sección 27.3 del standard ASCE 7-22).....	83
3.2.2 Cargas de viento en estructuras - Procedimiento Direccional (Sección 27.3 del standard ASCE 7-22).....	90
3.3 . ANALISIS DE CARGAS DE VIENTO DE ACUERDO AL “STANDARD ASCE 7-22” EJEMPLO DE APLICACIÓN	91
CONCLUSIONES.....	109
RECOMENDACIONES.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	111

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es crear una guía para que cualquier usuario con conocimientos básicos en ingeniería civil conozca los procedimientos y criterios más relevantes del análisis por sismo y por viento de uno de los códigos de análisis más reconocidos en el mundo, el estándar ASCE 7 – 22 “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures”.

En el presente documento se aplican las cláusulas del estándar ASCE 7 – 22 para el análisis sísmico y por viento y así obtener dichas cargas sobre un prototipo de estructura, para este trabajo una nave industrial con una configuración regular, con una ubicación supuesta en una zona de alta sismicidad y con ráfagas de viento de intensidad considerables. Para el análisis sísmico se aplican el método lineal estático de Fuerza Lateral Equivalente (ELF). Para el análisis por viento se aplica el método direccional para edificios de cualquier altura.

INTRODUCCIÓN

Con el fin de minimizar los daños a la población humana y sus recursos debido a catástrofes naturales, como sismos y tornados, las sociedades y sus formas de gobierno han ido estableciendo y desarrollando legislaciones que regulen los procedimientos constructivos. Generalmente, las regulaciones en el mundo suelen contemplar criterios que conducen a la seguridad estructural frente a acciones accidentales producto de la naturaleza.

Dada la enorme variación de configuraciones geofísicas naturales de la corteza de la tierra, cada región presenta diferentes fenómenos naturales que afectan en mayor o menor medida sus ecosistemas.

A lo largo del mundo suelen encontrarse divisiones territoriales de tamaño suficientes que permiten a sus autoridades locales identificar sus retos particulares para el desarrollo de su población.

Cada jurisdicción local (municipio, condado, ciudad, estado, etc.) presenta situaciones y condiciones particulares que usualmente deben tomar en cuenta en la gestión de su administración. Estas pueden ser, por ejemplo, ciudades con grandes refinerías de petróleo, edificios de gran altura, gran densidad de población, localización geográfica en relación con la ruta de huracanes, etc.

Los reglamentos de construcción a lo largo del mundo han ido evolucionando de acuerdo a las condiciones y necesidades particulares bajo su jurisdicción, por lo tanto, no sorprende que existan diferencias actuales entre los códigos de análisis y diseño estructural de cada nación. Aun con estas diferencias, la determinación de las amenazas por desastres naturales es un tema que suelen tener en común los reglamentos de construcción a lo largo del mundo.

De manera similar a México, la nación vecina de los EE.UU. también se enfrenta a fenómenos como sismos y huracanes, por lo que también han tenido que implementar códigos de análisis para estas acciones accidentales. Sin embargo, a diferencia del gran conocimiento que se tiene en México de algunos códigos de diseño estadounidenses, como el ACI o el AISC, el conocimiento de códigos de análisis para acciones accidentales del mismo origen es mucho menor.

El objetivo del presente estudio es presentar la aplicación de la normativa para análisis de acciones accidentales más actual y de mayor relevancia en los EE. UU.; también, estudiar la manera en cómo esta normativa es desarrollada e implementada dentro del país vecino.

La importancia de este proyecto de investigación reside en que brindará a los ingenieros mexicanos un gran conocimiento que puede ser implementado en la práctica del diseño estructural. Es importante también mencionar que se trata de un tema del que la gran mayoría de la comunidad de ingenieros de estructuras no alcanzan a estudiar aun a nivel de maestría.

La estructura de este proyecto de estudio comprendió los capítulos que se explican a continuación:

En el capítulo I, se aborda la normatividad y sus antecedentes, particularmente se estudió una pequeña parte de las normativa de la ciudad de México, la ciudad de Puebla, y la normativa de los Estados Unidos De Norte América.

En el capítulo II, se aborda la aplicación de los capítulos 11 y 12 del ASCE 7 - 22 para el análisis sísmico. La primera parte de este capítulo trata la teoría y la explicación de los procedimientos y parámetros que serán utilizados en la segunda parte, la cual consiste de la aplicación numérica sobre el caso de estudio, el caso de estudio se centra en una nave industrial.

De manera similar al capítulo anterior, el capítulo III aborda los capítulos 26 y 27 del ASCE 7 – 22 para el análisis por viento, con una primera parte que detalla los procedimientos y conceptos necesarios para la aplicación numérica a realizar en la segunda parte, .

Al final, se presentan las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

CAPITULO 1: NORMATIVA

¿Qué es una norma? ¿Qué es normativa? , se puede definir que una norma es un principio que se impone o se adopta para dirigir la conducta o la correcta realización de una acción o el correcto desarrollo de una actividad, esto con el fin de proteger a la sociedad en todos los sentidos. Por tanto. se conoce como normativa al conjunto de normas que guían, dirigen y ajustan el comportamiento de un individuo, organización, materia y/o actividad.

En ingeniería estructural el término normativa es comúnmente usado como sinónimo de regla, método, procedimiento, siendo su presencia y cumplimiento de suma importancia, ya que estipula y limita el comportamiento y funciones de cada uno de los elementos estructurales que componen una edificación, permitiendo lograr una sana y correcta interacción entre cada uno de los elementos y así lograr un óptimo funcionamiento de cualquier estructura ante cualquier tipo acción o carga a la que se encuentre sometida.

1.1 Antecedentes

Los códigos de construcción actuales se remontan al Código de Hammurabi. Este código se encuentra entre los escritos traducibles más antiguos (aproximadamente hace 4000 años). Consta de 282 leyes, la mayoría relativas al castigo. El código incluye las leyes de construcción más antiguas conocidas, diseñadas para incentivar a los constructores y a los ocupantes a garantizar que las viviendas sean seguras. Aunque este código legal no fue el primero, fue el definido con mayor claridad e influyó en las leyes de otras culturas.

El origen de los códigos o normas de diseño y construcción se basa, entre otros acontecimientos históricos, principalmente en los primeros intentos de un grupo, organización o comunidad de especialistas en sistematizar el proceso de diseño y construcción, los cuales, consistieron en el establecimiento de reglas geométricas para materiales y elementos constructivos dados, con el objeto de crear estructuras cada vez más estables, seguras y eficientes, tomando en cuenta que estos códigos de origen podrían tener ligeras o muy grandes variaciones de lugar en lugar, dependiendo de las condiciones, necesidades y/o problemáticas que busque satisfacer la zona.

Actualmente las normas o reglamentos de construcción son documentos legales que deben cumplir con el objetivo de proteger a la sociedad contra la falla o mal funcionamiento de las edificaciones. El grado de protección que puede lograrse no es absoluto, sino que debe ser óptimo en el sentido de que sea congruente con las consecuencias de las posibles fallas y con el costo de incrementar la seguridad. Estos reglamentos son elaborados por comités formados por grupos de especialistas en la materia y revisados por personas e instituciones relacionadas, así como por las autoridades competentes.

Es importante mencionar que depende de cada zona desarrollar sus propios criterios o lineamientos para satisfacer sus necesidades o dar solución a las problemáticas a las que puedan estar sometidas ya que, como se mencionó anteriormente, estas podrían variar drásticamente de un lugar a otro y de un tiempo a otro. La normativa de una región surge a través de múltiples estudios y experimentaciones enfocados en solucionar problemáticas propias de la zona, y sus reglamentos irán evolucionando con el paso del tiempo conforme avanza la tecnología y la capacidad intelectual del ser humano, sin embargo, varias veces se encuentran limitaciones (principalmente tecnológicas) que impiden un mejor desarrollo de las normas. Gracias a los estudios y experimentos realizados a través del tiempo, las estructuras pasaron de ser construidas con base en pruebas y errores de manera puramente empírica, a ser construidas siguiendo un sistema elaborado regido por expresiones matemáticas basadas en estudios que dan las pautas para el diseño.

Hoy en día gracias a la globalización, países más desarrollados pueden compartir sus hallazgos con el resto de la comunidad, y es donde países del resto del mundo pueden tomarlos como referencias y así formar o mejorar sus propios lineamientos con modificaciones que sean más adecuadas a la situación de cada país o zona geográfica. Por mencionar un ejemplo, uno de los lineamientos más desarrollados y destacables es el reglamento de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (en inglés American Society of Civil Engineers, conocido por sus siglas ASCE), quienes han desarrollado muchos de los avances más significativos en el mundo.

La Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (en inglés American Society of Civil Engineers, ASCE) es un colegio profesional fundado en 1852 que representa a ingenieros

civiles de todo el mundo. Es la más antigua de las sociedades de ingeniería en los Estados Unidos y a su vez, es la organización con mayor edición de información, relacionada con la ingeniería civil.

Como se mencionó anteriormente, gracias a la globalización, algunas zonas toman como referencia los estudios compartidos de lugares más desarrollados para mejorar sus reglamentos, siendo el caso del municipio de Puebla, la cual está influenciada por los lineamientos de la ciudad de México y estos a su vez por los códigos de Estados Unidos, haciendo énfasis en cuanto a los temas de viento y sismo, debido a que sus normativas están más desarrolladas y fundamentadas por medio de estudios más exhaustivos.

La normatividad en cuanto a construcción y diseño estructural, depende fuertemente del lugar y de la época, por mencionar un ejemplo, las normas del estado de Puebla no pueden ser las mismas que las del estado de Coahuila, ya que, cada una busca solucionar o satisfacer condiciones diferentes, una de ellas y la principal serían los efectos sísmicos, que afectan de forma muy diferente cada estado, así mismo, el paso del tiempo también afecta de forma positiva, gracias a los avances de ciencia y tecnología, no es lo mismo la normatividad del municipio de Puebla actual a la de hace 30 años. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, gracias a la globalización, tenemos acceso a estudios y conocimientos de otras normativas mejor fundamentadas y más desarrolladas, que, aunque no es correcto aplicarlas al 100%, si es posible adaptarlas lo mejor posible ante diferentes situaciones similares.

1.1.1 Antecedentes de la normativa del Municipio de Puebla

La normatividad relacionada con el diseño de estructuras por sismo y viento en el municipio Puebla tiene una historia relativamente reciente.

El primer reglamento de construcciones del “Estado de Puebla” es de 1935 y no contempla ningún artículo que haga mención al diseño de estructuras por efectos sísmicos o de viento.

En 1988 se publicó el Reglamento de construcción para el municipio de Puebla, en el cual, después del sismo de 1985 en el Distrito Federal, ya se consideraba el diseño de estructuras por efectos de sismo. Siendo una adaptación del reglamento del Distrito Federal.

En 1994, en el Periódico Oficial, se publica nuevamente el Reglamento de construcción para el municipio de Puebla, que también contemplaba la parte del diseño por sismo y viento

El sismo del 15 de junio de 1999, el cual provocó una gran cantidad de daños en el estado de Puebla, sobre todo en monumentos históricos, generó estudios específicos de riesgo sísmico para el municipio de Puebla, que culminaron en Normas técnicas para diseño por sismo, aplicables particularmente a la ciudad.

El equipo de trabajo del Dr. Javier Avilés López, desarrollo el trabajo que a la fecha determina en Puebla los parámetros para el diseño por sismo de las construcciones en el municipio. Los trabajos fueron auspiciados por la BUAP en 1999 y las Normas se incluyeron en el Código reglamentario del municipio de Puebla, publicado en 2004. A partir del año 2004, se realizaron correcciones, principalmente de carácter ortográfico.

En el año de 2016, se realizaron revisiones y adecuaciones de contenido al Código y particularmente el Colegio de Ingenieros Civiles Del Estado de Puebla, A.C (CICEPAC) tuvo a su cargo la revisión de los artículos relacionados con la parte de Seguridad Estructural. Para esto, se propuso solo hacer referencia a las Normas Técnicas Complementarias en el cuerpo del Código y tenerlas por separado.

Las normas de Diseño por sismo se reescribieron con algunas modificaciones. En abril de 2017 se expidieron las Normas técnicas complementarias.

En cuanto a normatividad de análisis y diseño de viento, como se mencionó anteriormente, se hace mención por primera vez en el reglamento de construcción del municipio de Puebla de 1994, actualmente en el Código Reglamentario del Municipio de Puebla (COREMUN) hace referencia al Manual de Obras Civiles (MDOC) para Diseño por Viento de Comisión Federal de Electricidad (CFE) como la única guía para análisis y diseño.

1.1.2 Antecedente de Normativas en la ciudad de México (Origen de las Normas Técnicas Complementarias)

La normatividad en la ciudad de México ha tenido múltiples cambios a lo largo del tiempo. Debido principalmente a eventos extraordinarios originados por la naturaleza como son sismos, huracanes, tormentas, inundaciones, etc. En 1920 se emitió el primer reglamento de Construcciones del Distrito Federal, 37 años después en el mes de Julio de 1957, ocurrió un evento sísmico de magnitud de 7.7 grados aproximadamente, en la escala de Richter en el cual, el denominado Ángel de la Independencia colapso. Dicho evento permitió que se decretaran adiciones al Reglamento a través de normas, las cuales se denominaron Normas de Emergencia y fueron publicadas en el mismo año.

Poco después, fue publicado en el año de 1966, un nuevo Reglamento de Construcciones y aparecen las Normas de la Dirección General de Obras Públicas. Estas normas, fueron la base para la elaboración de las Normas Técnicas Complementarias, las cuales fueron publicadas 11 años después, en 1977. En ese mismo año (1977) las Normas Técnicas Complementarias (NTC) incluyeron las bases para el diseño y construcción de estructuras de concreto, mampostería, acero y de madera. A partir de esa publicación, la primera modificación de las NTC ocurrió en 1984 y dicho cambio fue debido a nuevos avances tecnológicos que permitieron un replanteamiento general de las bases para el diseño estructural.

Posteriormente el 6 de octubre de 2004, se actualizaron las normas técnicas complementarias y se dividieron en 7 nuevos apartados y fueron publicadas en la Gaceta Oficial del Distrito Federal:

- 1) Sobre criterios y acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones.
- 2) Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones.
- 3) Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento.
- 4) Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.
- 5) Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería.
- 6) Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Madera.

7) Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto.

Finalmente, después de los acontecimientos sísmicos ocurridos en septiembre del 2017 que afectaron gravemente a la ciudad de México, el 1º de diciembre de 2017, el Gobierno anuncia que actualizará las Normas Técnicas Complementarias y son finalmente publicadas el 15 de diciembre del mismo año (2017). A la fecha de este trabajo, las normas técnicas complementarias más recientes tratan del 2020, siendo prácticamente las mismas que las del 2017, pero con comentarios y aclaraciones.

1.1.3 Antecedente Código de Construcción en Estados Unidos

Los primeros códigos de construcción en los Estados Unidos son establecidos en 1625, donde abordaron principalmente la seguridad contra incendios y materiales específicos para cubiertas de techos. En 1630, Boston prohibió las chimeneas hechas con techos de madera y paja. A fines de la década de 1770, George Washington recomendó que se impusieran limitaciones de altura y área en los edificios con armazón de madera en sus planes para el Distrito de Columbia. En 1788, el primer código de construcción formal conocido se escribió en los Estados Unidos en Old Salem, (ahora Winston-Salem) Carolina del Norte.

Las ciudades más grandes de Estados Unidos comenzaron a establecer códigos de construcción a principios del siglo XIX. En 1865, Nueva Orleans fue la primera ciudad en promulgar una ley que requería inspecciones de lugares públicos. La Junta Nacional de Aseguradores de Incendios publicó su Código Nacional de Construcción Recomendado en 1905. En 1915, se estableció la primera organización de códigos modelo del mundo para proporcionar un foro para el intercambio de ideas sobre la seguridad de los edificios y las normas de construcción. En 1973, el Instituto Americano de Arquitectos pidió que se usara un código en todo Estados Unidos. (Fire Marshals Association of Minesota, 2021)

En 1994 se funda el Consejo de Código Internacional (ICC) con el objetivo de desarrollar un conjunto de normativas de construcción a nivel internacional, y finalmente en el año 2000,

la primera edición del Código Internacional de Construcción (IBC) fue publicada. Desde entonces, el IBC se mantiene actualizando y consolidándose como el código modelo dominante en los estados unidos, siendo el código actual adoptado por la mayoría de los estados.

1.2 Normativa actual en la República Mexicana

Cabe mencionar que México es el único país en América Latina que no cuenta con un reglamento a nivel nacional. Con base en el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, se interpreta que cada municipio tiene la atribución de emitir el propio. Para el caso del municipio de Puebla es el Código Reglamentario del Municipio de Puebla (COREMUN) que, a su vez, hacen referencia a las Normas Técnicas Complementarias de la ciudad de México (NTC).

La Figura 1.2 muestra los estados de la república mexicana que cuentan con normatividad a nivel estatal para efectos sísmicos, siendo estos: Baja California, Coahuila de Zaragoza, Tamaulipas, Zacatecas, Querétaro, Veracruz, Morelos, Guerrero, Oaxaca, Tabasco, Estado de México y Ciudad de México, mientras que la Figura 1.3 muestra a nivel municipal los municipios que cuentan con normatividad para efectos sísmicos.

Como se mencionó, actualmente en la República Mexicana, las leyes que regulan el sector de la construcción son estipuladas por los gobiernos estatales y/o municipales, y son implementadas en forma de reglamentos de construcción. Aun cuando los gobiernos estatales y municipales tienen la libertad para desarrollar sus propios reglamentos, gran parte del contenido de sus lineamientos y sus especificaciones son adopciones parciales o completas de otros documentos oficiales. Los dos documentos principales que son adoptados por la mayoría de jurisdicciones son:

- El Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, junto con sus Normas Técnicas Complementarias.
- El Manual de Diseño de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad.



Figura 1.1 Reglamento de construcción del Distrito Federal/Normas Técnicas Complementarias, y Manual De Obras Civiles a través de los años
 Fuente: Diplomado de estructuras de acero IMCA 2020



Figura 1.2. Reglamentación por estados de la República Mexicana
 Fuente: Diplomado de estructuras de acero IMCA 2020



Figura 1.3. Reglamentación por Municipios de la República Mexicana
 Fuente: Diplomado de estructuras de acero IMCA 2020

Debido a la cercanía que tiene la República mexicana con los Estados Unidos, nos encontramos fuertemente influenciados por ellos, no solo en moda y tecnología, si no que hasta en lineamiento constructivos, sus lineamientos de diseño y construcción llegan a traspasar la frontera que hasta ciertos estados, municipios y/o dependencias los llegan a adoptar como los lineamientos oficiales de las zonas, estos documentos extranjeros oficiales son elaborados por organizaciones especializadas, algunas de ellas son:

- Instituto Americano del Concreto (ACI)
- Instituto Americano de la Construcción en Acero (AISC)
- Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI)
- Sociedad Americana de Soldadura (AWS)
- Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)
- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM)
- Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE)

1.3 Código Reglamentario Del Municipio De Puebla (COREMUN)

En este apartado se estudiará brevemente la normativa del municipio de Puebla, el Código Reglamentario Del Municipio De Puebla, por sus siglas COREMUN.

El COREMUN es el instrumento reglamentario fundamental del municipio de Puebla, tiene por objeto desarrollar las bases para la organización y el funcionamiento del gobierno municipal, así como proveer y desarrollar las leyes administrativas del Estado en los ámbitos de su competencia, y regular las actividades privadas y los servicios públicos que al Ayuntamiento le corresponda reglamentar o proporcionar. (COREMUN, 2020)

De este código reglamentario es de interés, para el ingeniero civil, lo estipulado en el “LIBRO TERCERO: DESARROLLO URBANO SUTENTABLE, CAPITULO 17: DE LA GESTION DEL SUELO Y CONSTRUCCIONES, TÍTULO IV: CONSTRUCCIONES DEL PROYECTO ARQUITECTONICO”, el cual aborda los siguientes temas:

- Clasificación de las construcciones:

Las construcciones se clasifican según su destino, dividiéndose en 2 grupos y subgrupos.

- De las características generales de las edificaciones y criterios de diseño:

Los proyectos estructurales deben diseñarse de tal forma que resista las acciones que puedan afectarles, especialmente cargas gravitatorias y los efectos sísmicos.

- Estados limites:

Se considerará como estado límite de falla a cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación. Las NTC establecerán los estados límite de fallas más importantes para cada material y tipo de estructura.

-Acciones de diseño:

Toda estructura está sometida a diferentes tipos de cargas o fuerzas, se consideran 3 categorías de acciones de acuerdo a la duración actuante sobre la estructura, acciones permanentes, acciones variables y acciones accidentales.

-Cargas Muertas:

Se consideran como cargas muertas los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados y de todos los elementos que ocupan una posición permanente y tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo.

-Cargas Vivas:

Se consideran cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente.

- De la seguridad estructural de las construcciones:

Este subtítulo se refiere al proyecto estructural de las edificaciones. Los proyectos estructurales deben considerar las normas técnicas complementarias, siendo las que a continuación se mencionan:

- I. NTC para diseño por sismo del Municipio de Puebla
- II. NTC para diseño y construcción de cimentaciones del Municipio de Puebla
- III. NTC para la evaluación de la seguridad estructural de estructuras existentes del Municipio de Puebla.

Asimismo, se tomarán en cuenta las siguientes normas vigentes en la Ciudad de México:

- I. NTC sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones
- II. NTC para diseño y construcción de estructuras de concreto
- III. NTC para diseño y construcción de estructuras metálicas
- IV. NTC para diseño y construcción de estructuras de mampostería
- V. NTC para diseño y construcción de estructuras de madera.

-Del diseño por sismo:

En las Normas se establecen las bases y requisitos generales mínimos de diseño para que las estructuras tengan seguridad adecuada ante los efectos de los sismos. Los métodos de análisis y los requisitos para estructuras específicas se detallan en las NTC para diseño por sismo del Municipio de Puebla.

-Del diseño por viento:

En cuanto a análisis y diseño de las estructuras por efectos eólicos no se cuenta con una normatividad propia para el municipio de Puebla, por lo que, las bases para la revisión de la seguridad y condiciones de servicio de las estructuras ante los efectos de viento y los procedimientos de diseño se establecen en el Manual de Diseño por Viento de la CFE vigente.

Se resalta que el municipio de Puebla si cuenta con normativas propias, sin embargo, no con las suficientes, ya que al mismo tiempo se auxilia de otras normas nacionales para complementarse.

1.4 Estándar ASCE 7

ASCE es la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (en inglés American Society of Civil Engineers, conocido por sus siglas ASCE) y es una de las organizaciones desarrolladoras de estándares más relevantes de los Estados Unidos, es una institución fundada en 1852 que representa a ingenieros civiles de todo el mundo y presume ser la sociedad más antigua de ingeniería en los Estados Unidos.

ASCE fue fundada en la ciudad de Nueva York el 5 de noviembre de 1852 cuando doce ingenieros se reunieron en las oficinas del Acueducto Croton y crearon la American Society of Civil Engineers and Architects (en español Sociedad Americana de Ingenieros Civiles y Arquitectos), pero en 1869 se retiró del nombre la parte “y Arquitectos” debido a que éstos creasen su propia sociedad, el American Institute of Architects en 1857. Al ASCE también se le reconoce por ser el mayor editor de información relacionada con la ingeniería civil del mundo, teniendo a su nombre revistas profesionales, actas de congresos, normas, manuales de prácticas, informes y monografías.

De su amplio catálogo de estándares, uno de los más conocido y el motivo de este trabajo, es el estándar ASCE 7 “Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras” (Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures), que como su nombre lo dice, proporciona las cargas mínimas, niveles de riesgo, y criterios para el correcto desempeño de edificios y otras estructuras que están sujetos a los requisitos del código de construcción.

En este documento se especifican las cargas, las combinaciones de carga y los criterios asociados que deben usarse, así también, los criterios que deben usarse para proporcionar los niveles de rendimiento previstos para los cuales se han desarrollado las disposiciones de esta norma. También se describen los procedimientos para aplicar medios alternativos para demostrar un desempeño aceptable.

El estándar ASCE 7 es una parte integral de los códigos de construcción en los Estados Unidos y en todo el mundo, y se adopta por referencia en el Código internacional de construcción, el Código internacional de construcción existente, el Código residencial internacional y el Código de seguridad y construcción de edificios. Los ingenieros estructurales, los arquitectos y aquellos que se dedican al diseño y construcción de estructuras encontrarán los requisitos de carga estructural esenciales para su práctica.

Algo importante de mencionar de este estándar, es que, como se puede observar en la figura 1.4, desde 1995 se mantienen constantemente actualizado, es importante resaltar este punto, ya que, a comparación, las normativas nacionales se actualizan de forma indefinida, haciendo esto uno de los principales motivos del por qué estudiar el ASCE 7, que es una normativa que está a la vanguardia. Las últimas versiones a la fecha del estándar ASCE 7 han sido el ASCE 7-05, ASCE 7-10, ASCE 7-16, y más recientemente el ASCE 7-22.

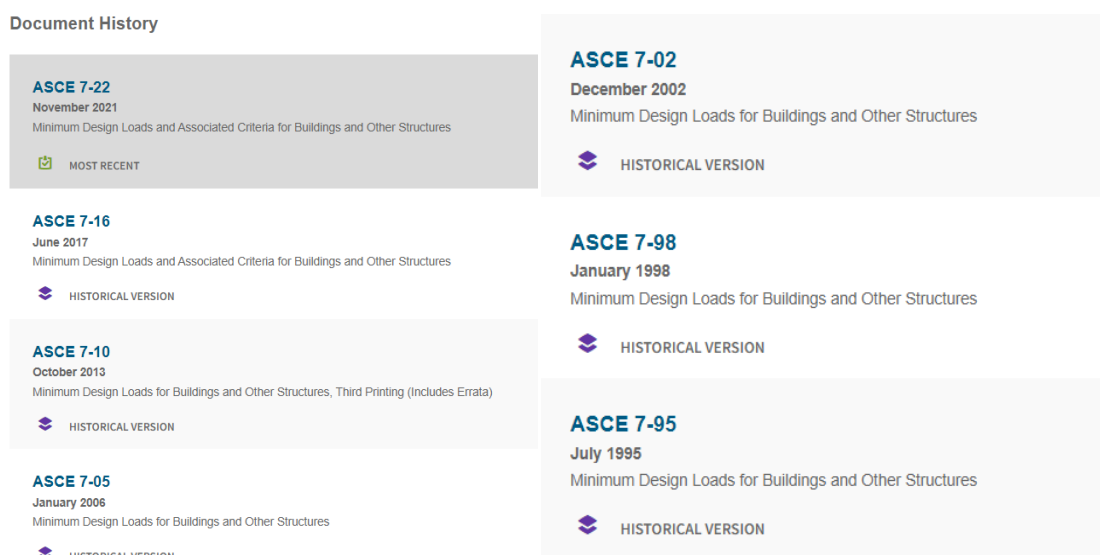


Figura 1.4. Documentos históricos ASCE 7
Fuente: Techstreet.com

1.4.1 STANDARD ASCE 7-22 “Cargas Mínimas De Diseño Y Criterios Asociados Para Edificios”

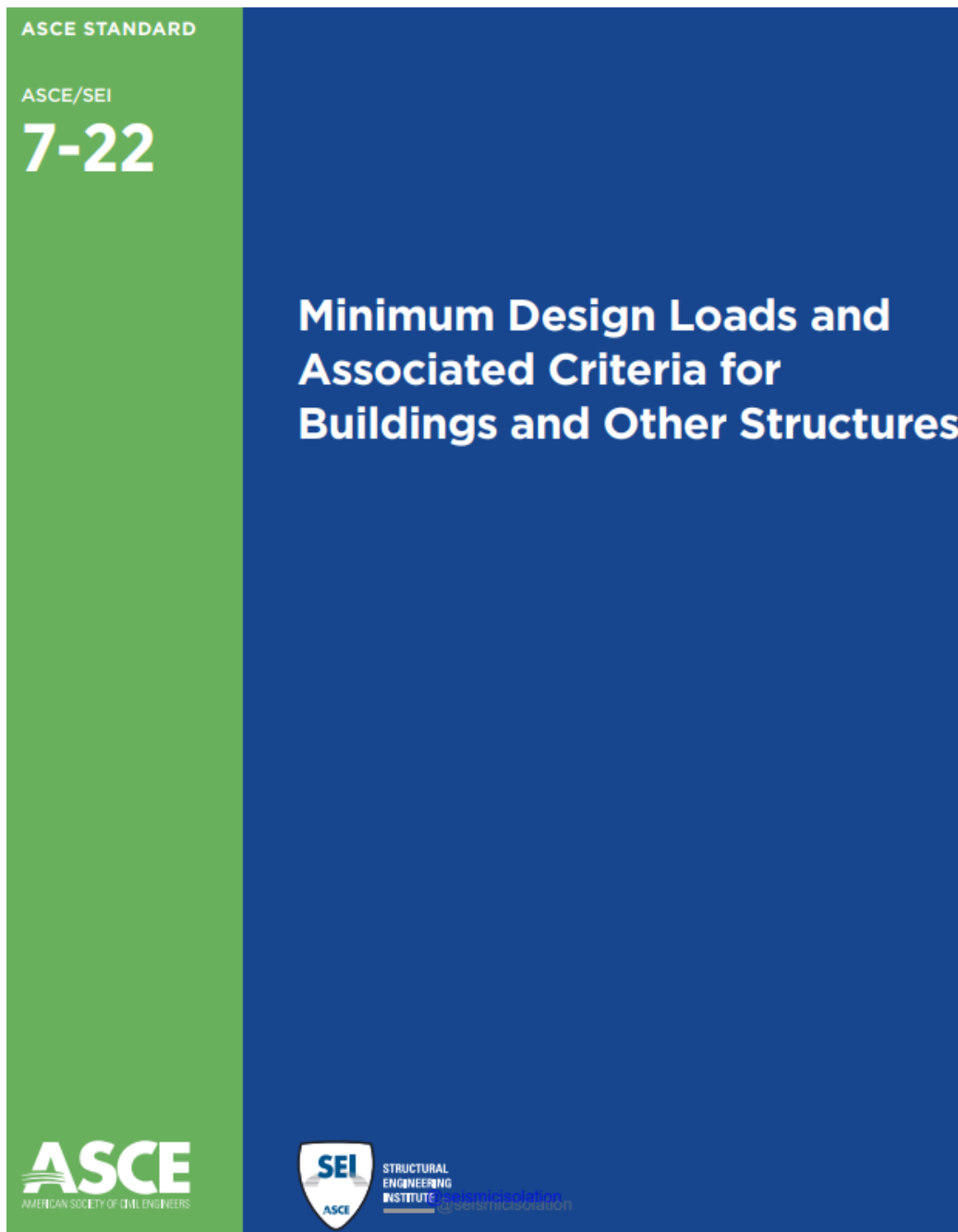
El ASCE 7 es preparado por el comité de estándares de cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras de la división de actividad de códigos y estándares del Instituto de Ingeniería Estructural de la ASCE.

Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras, ASCE/SEI 7-22, proporciona las disposiciones de carga más actualizadas y coordinadas para el diseño estructural general. Esta norma prescribe las cargas de diseño para todos los peligros, incluidos muertos, vivos, suelos, inundaciones, tsunamis, nieve, lluvia, hielo atmosférico, sísmicos, viento e incendios, así como también cómo evaluar las combinaciones de cargas. La edición 2022 de ASCE 7, que reemplaza a ASCE 7-16, se coordina con los estándares de materiales estructurales más actuales, incluidos los de ACI, AISC, AISI, AWC y TMS.

Una vez definido lo que es el estándar ASCE 7-22, Cualquier persona de la República Mexicana relacionada con el ámbito de la ingeniería, arquitectura o construcción, se preguntara ¿por qué estudiar una normativa de los Estados Unidos ?, como se ha visto a lo largo de este capítulo, muchas normativas se encuentran influenciadas por lineamientos extranjeros, y las normativas de Puebla y/o México no son la excepción, con el estudio de este standard se encontraron muchos conceptos que fueron adoptados en los lineamientos nacionales, sin embargo, algunos de estos mismos conceptos han ido evolucionando y se han refinado al punto de que ya son totalmente diferentes de cómo eran cuando fueron adoptados por las normas nacionales actuales, esto prevé, que en un futuro, los códigos de toda la república mexicana traten de copiar o adaptar estos conceptos evolucionados (así como nuevos conceptos) para actualizar sus normativas.

A continuación, para explicar mejor el funcionamiento del standard ASCE 7-22, se realizara un análisis de sismo y viento aplicado en una nave industrial (Capitulo II y III de este trabajo), se procura los temas de sismo y viento porque son las fuerzas más comunes que actúan en cualquier zona de la república mexicana, en especial del municipio de Puebla, se procurara que el análisis que se realice sea de la forma más practica y sencilla, para que cualquier

persona con conocimientos básicos en ingeniería civil pueda entender, y así al mismo tiempo incentivar a que conozcan el ASCE 7-22 y se mantengan actualizados con estos lineamientos.



*Figura 1.5 Versión más reciente del estándar ASCE 7
Fuente: ASCE STANDARD ASCE/SEI 7-22*

1.5 ASCE 7 HAZARD TOOL (HERRAMIENTA DE PELIGRO)

El estándar ASCE 7-22 cuenta con una base de datos geográfica a nivel nacional, esta base de datos no es indispensable, sin embargo, es una herramienta muy práctica y de gran ayuda que ahorra mucho tiempo, la herramienta llamada ASCE 7 HAZARD, en español “herramienta de peligro”, la podemos encontrar en su página de internet <https://asce7hazardtool.online/>.

A lo largo de este trabajo se estará utilizando esta herramienta de ayuda, por lo que es importante conocerla, aprender a cómo utilizarla y como interpretar los datos, utilizarla es bastante sencillo solo es necesario seleccionar la categoría de riesgo de la estructura, la clase de suelo, el tipo de carga y seleccionar la ubicación del lugar por medio de coordenadas, o seleccionar el sitio a través de su mapa didáctico.

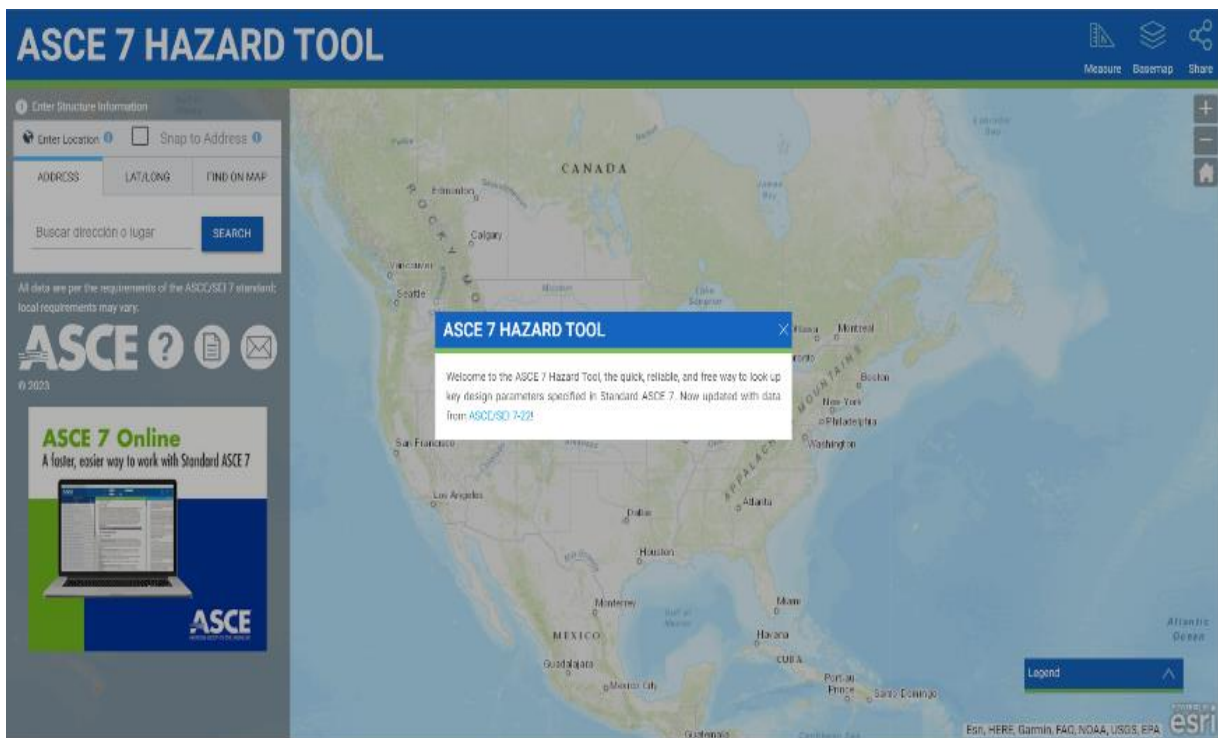


Figura 1.6 Interfaz principal de la herramienta de peligro ASCE 7
Fuente: Página oficial ("<https://asce7hazardtool.online/>")

1.5.1 COMO UTILIZAR ASCE 7 HAZARD TOOL

Como se mencionó anteriormente, para acceder a la herramienta de peligro es a través de su página en internet <https://asce7hazardtool.online/>, y nos basaremos en cómo utilizar la herramienta para efectos de sismo y viento, que son los temas de interés de este trabajo.

Paso 1: El primer paso es proporcionarle a la herramienta los datos de ubicación de nuestra estructura, la herramienta nos ofrece 3 opciones para ubicar el lugar de estudio, por medio de una dirección, con coordenadas, o seleccionando el sitio a través de su mapa didáctico (figura 1.7). Para nuestra estructura se optó por proporcionar la ubicación por medio de su mapa didáctico, la estructura a analizar se encuentra en "Los Ángeles california"(figura 1.8)

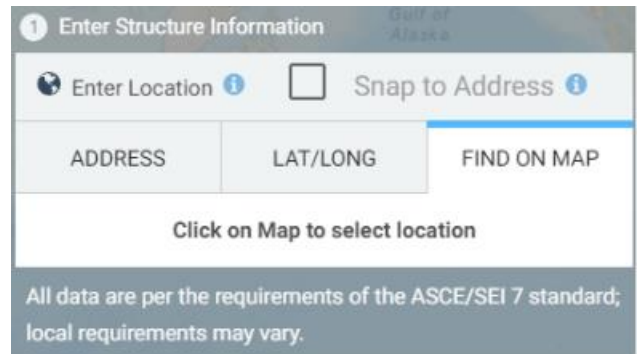


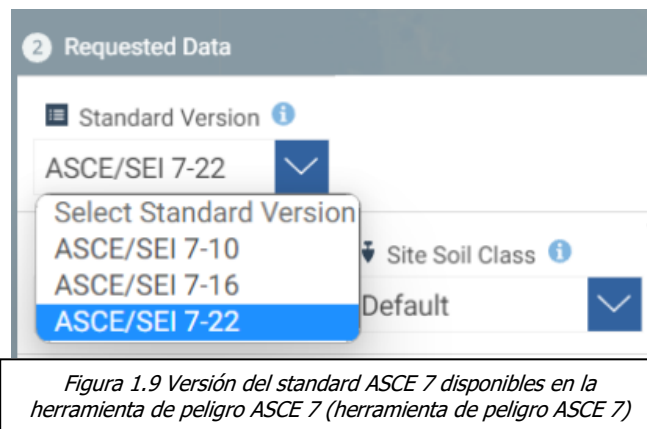
Figura 1.7 opciones a escoger para proporcionar la ubicación donde se requiere estimar la velocidad básica del viento (herramienta de peligro ASCE 7)



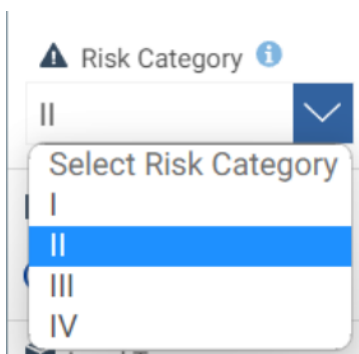
Figura 1.8 Ubicación de la estructura a analizar en el mapa didáctico (herramienta de peligro ASCE 7)

Paso 2: Como segundo paso es proporcionarle los datos adicionales a la herramienta:

* **Versión de la normativa ASCE 7 a utilizar:** La herramienta nos da la opción de escoger que versión de la normativa ASCE 7 queremos utilizar, ASCE 7-10, ASCE 7-16, ASCE 7-22. (figura 1.9). Uno de los objetivos de este trabajo es analizar la estructura con los métodos y procedimientos más actualizados, siendo este el standard ASCE 7-22



* **Categoría de riesgo de la estructura:** Seleccionar la categoría de riesgo de la estructura, existen 4 categorías de riesgo (figura 1.10), el concepto de categoría de riesgo es un término que se refiere a categorizar a las estructuras por su uso u ocupación en función del riesgo que representan para la vida y el bienestar humano en caso de que la estructura falle, esta categorización se define en los capítulos II y/o III del presente trabajo, o en la tabla 1.51-1 del estándar ASCE 7-22



* **Clase de suelo del sitio:** Seleccionar el tipo de suelo donde se desplanta la estructura, este dato no es necesario para el cálculo de fuerzas de viento, sin embargo, es un dato requerido para que la herramienta de peligro ASCE 7 muestre resultados. Se escogió a forma de ejemplo un tipo de suelo de clase C, Arenas muy densas y rocas blandas (Figura 1.11). El concepto de clase de suelo se aclara en el capítulo II De Este trabajo, o en la tabla 20.2-1 del Estándar ASCE 7-22

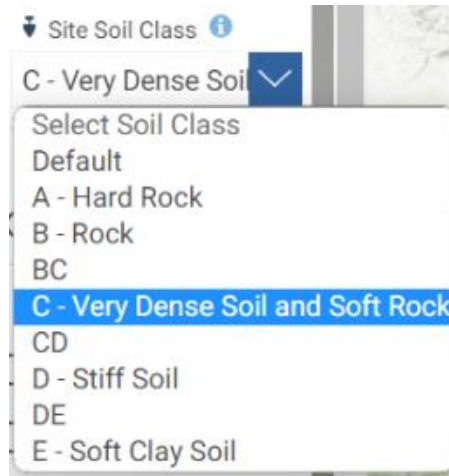


Figura 1.11 Selección de clase de suelo de donde se desplantará la estructura (herramienta de peligro ASCE 7)

* Unidades y tipo de carga: Como datos finales es la selección del tipo de unidades y el tipo de carga/ fuerza que queremos que se nos muestre en el mapa didáctico de la herramienta de peligro ASCE 7-22

La herramienta solo nos permite escoger entre dos sistemas de unidades, el sistema imperial anglosajón (que es el sistema principal de medición de los Estados Unidos) y el sistema Internacional, se opta por utilizar el sistema imperial anglosajón.

Por último, la herramienta nos pide seleccionar entre los 8 tipos de cargas/fuerzas que pueden afectar a una estructura según el standard ASCE/SEI 7-22, (Viento, Sismo, Hielo, Nieve, Lluvia, Inundaciones, Tsunamis y Tornados; cada

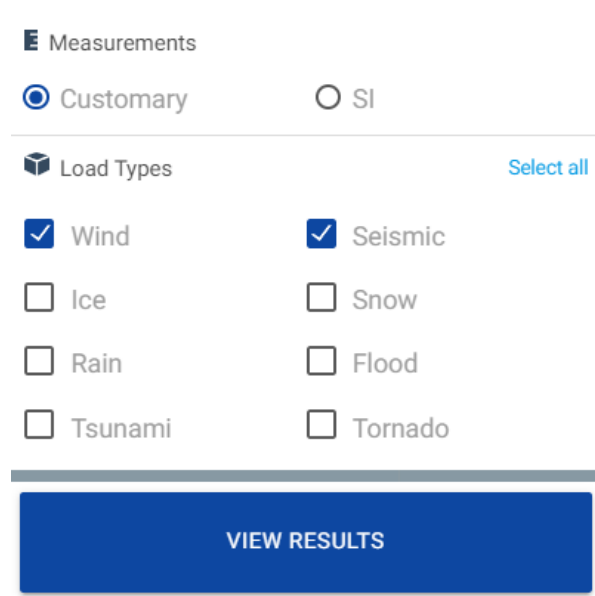


Figura 1.12 Selección del tipo de unidades y el tipo de carga/fuerza (herramienta de peligro ASCE 7)

uno de ellos se encuentran descritos en la normativa ASCE/SEI 7-22 en sus respectivos capítulos) en nuestro caso seleccionaremos los casos que son de nuestro interés, sismo y viento. (figura 1.12)

1.5.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ASCE 7 HAZARD TOOL

Al introducir todos los datos requeridos y pulsar el botón "view results" (ver resultados) nos arrojará un interfaz como el que se muestra en la figura 1.13, donde nos muestra los resultados obtenidos de forma gráfica de la ubicación que se solicitó. La figura 1.13 muestra los resultados arrojados para viento y la figura 1.14 muestra los resultados de sismo, a los cuales se accede fácilmente encendiendo el "switch" verde de sismo, ubicado del lado izquierdo de la interfaz de resultados.

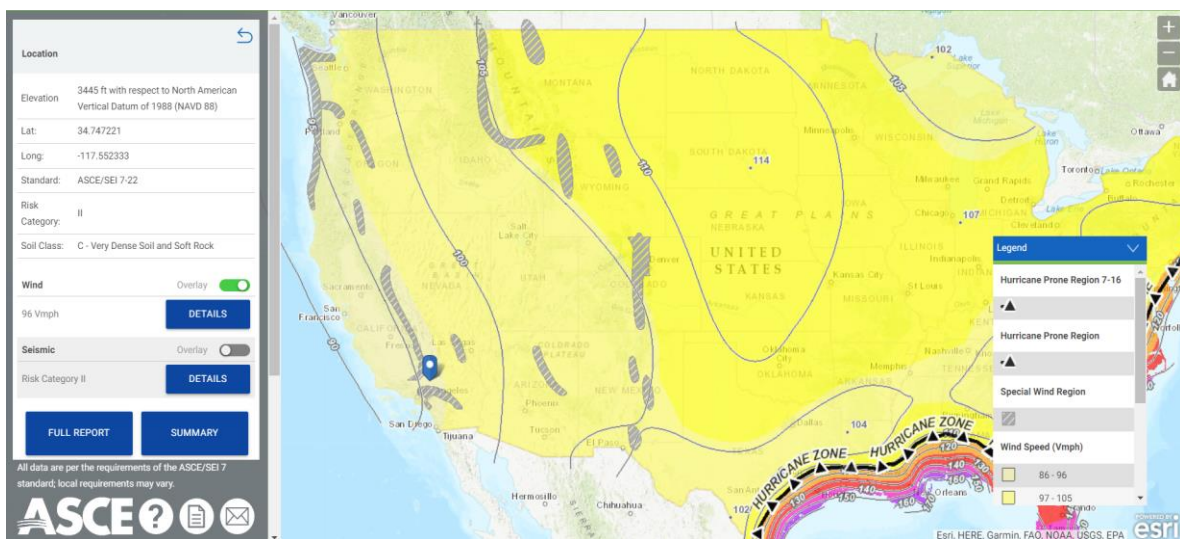


Figura 1.13 Interfaz de resultados, herramienta de peligro ASCE 7 (Fuerzas de viento)

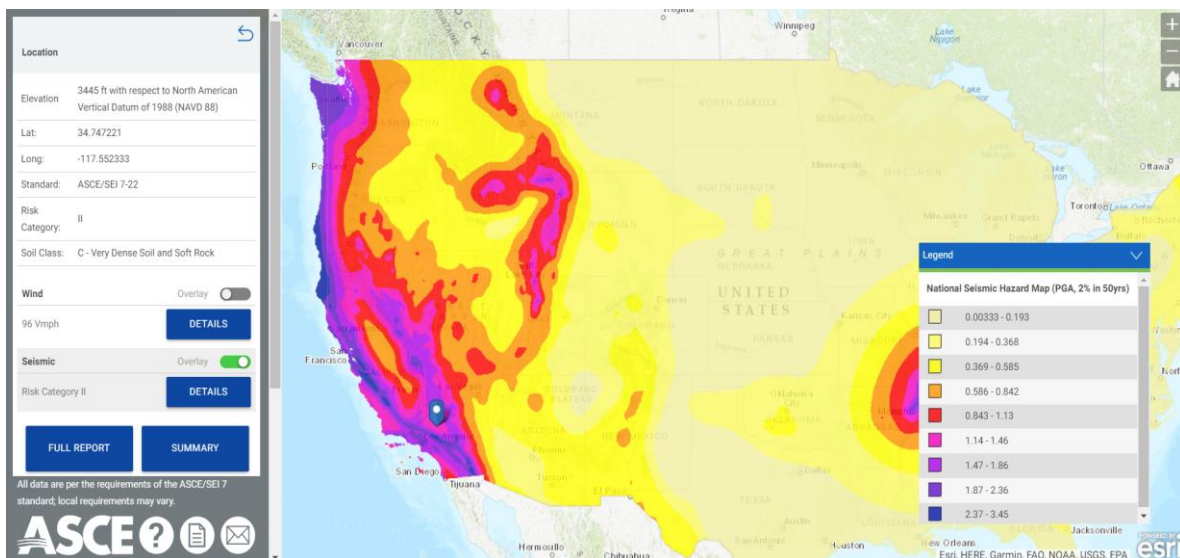


Figura 1.14 Interfaz de resultados, herramienta de peligro ASCE 7 (Resultados de sismo)

De lado izquierdo de la interfaz nos muestra un resumen de los datos proporcionados (Figura 1.15), y como dato final, que es el de nuestro interés, nos muestra los parámetros que buscamos, en este caso la velocidad básica del viento, resultando ser de 96 mph (42.91 m/s), y nos da los parámetros y espectros de diseño para sismo en el botón “DETAILS”, figuras 1.16 y 1.17.

Al inicio de este apartado (1.5) se especificó que el uso de esta herramienta no es indispensable, sin embargo, para realizar un análisis sísmico con el ASCE 7-22 si lo es, ya que la única forma de obtener ciertos parámetros sísmicos es con la herramienta de peligro ASCE 7, en el apartado correspondiente del capítulo II de este trabajo, se especifica cuáles son los datos necesarios que solo se pueden obtener con esta herramienta.

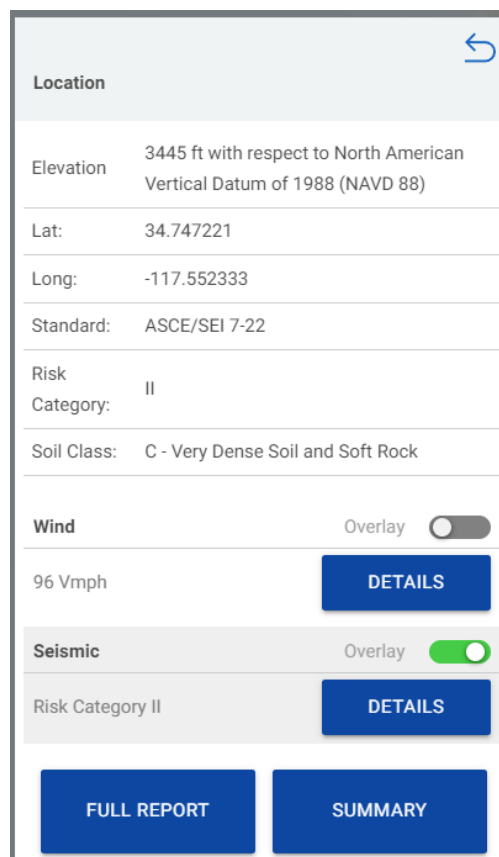


Figura 1.15 Interfaz de resultados, resumen de datos proporcionados, herramienta de peligro ASCE 7

Seismic Details

Risk Category II

S_S	1.03	S_1	0.36	S_{MS}	1.13	S_{M1}	0.52
S_{DS}	0.75	S_{D1}	0.35	T_L	12	PGA_M	0.46
V_{S30}	530						

Seismic Design Category D

Multi-Period Design Spectrum

GRAPH

TABLE

CSV

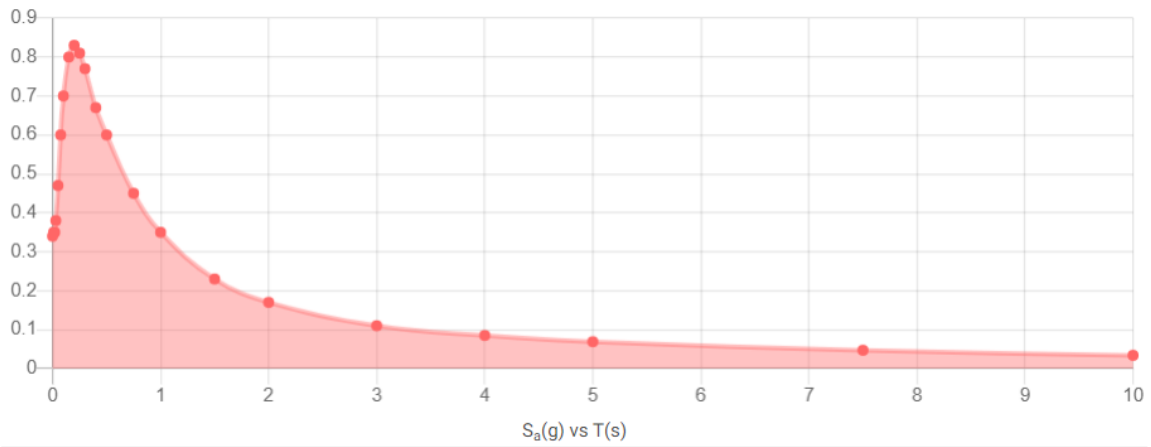


Figura 1.16 parámetros sísmicos y espectro de diseño multiperiodo, herramienta de peligro ASCE 7

Multi-Period MCE_R Spectrum

GRAPH

TABLE

CSV

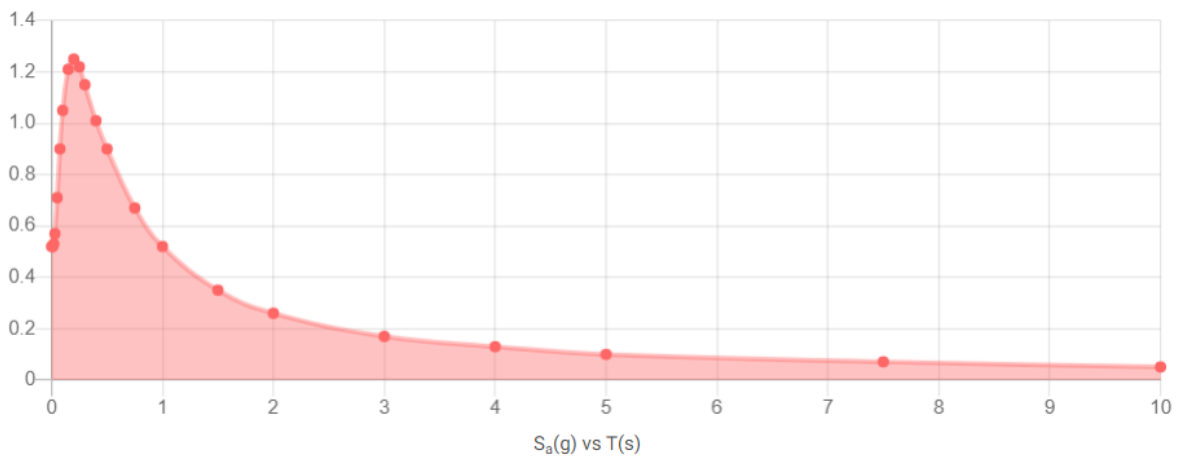


Figura 1.17 Espectro multiperiodo de Máximo Sismo Considerado, herramienta de peligro ASCE 7

CAPITULO 2. ANALISIS SISMICO DE ACUERDO AL “STANDARD ASCE 7-22”

Este capítulo tiene como objetivo ser una guía práctica para que cualquier usuario, con conocimientos básicos en ingeniería civil, pueda realizar un análisis sísmico de una nave industrial a través de la normativa de Estados Unidos, el STANDARD ASCE 7-22.

Los capítulos 11 y 12 del ASCE 7-22 ya fungen como una guía de análisis sísmico, sin embargo, como ocurre en muchas normativas, los procesos y conceptos descritos en dichos capitulos pueden llegar a ser bastantes amplios y ambiguos para el usuario “novato”, provocando en el usuario casual bastante confusión, por tal motivo este apartado es un conjunto de pasos que resumen de forma practica el análisis sísmico de ASCE 7-22.

Es importante mencionar que al principio de cada capítulo del standard ASCE, hay apartados de simbología y definiciones de los conceptos que se presentan en sus respectivos capítulos.

Los criterios de análisis sísmico del estándar ASCE 7-22 comienzan en el capítulo 11, “Criterio de Diseño Sísmico”. Inicialmente se establecen los alcances y los requisitos generales.

2.1 Requerimientos Generales.

A lo largo de todo el STANDARD ASCE 7-22 se presenta que una estructura puede tener varios tipos de clasificaciones, dependiendo de la situación que se estudie, la primera y una de las fundamentales es la categoría de riesgo de las estructuras, esta categoría se refiere al uso u ocupación en función del riesgo que representan para la vida y el bienestar humano en caso de que la estructura falle, esta posible falla está asociada con cargas de inundación, viento, tornado, nieve, sismo, y hielo.

La determinación de la categoría de riesgo es el primer paso para el análisis sísmico. Para esto, la tabla 1.5-1 clasifica la categoría de riesgo de acuerdo a descripciones generales en cuatro tipos, I, II, III y IV. Esta clasificación va de menor a mayor en lo que a riesgo de afectación se refiere, siendo la categoría IV la más crítica.

Table 1.5-1. Risk Category of Buildings and Other Structures for Flood, Wind, Tornado, Snow, Earthquake, and Ice Loads.

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

*Buildings and other structures containing toxic, highly toxic, or explosive substances shall be eligible for classification to a lower risk category if it can be demonstrated to the satisfaction of the Authority Having Jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.3 that a release of the substances is commensurate with the risk associated with that risk category.

Tabla 1.5-1 Categoría de riesgo de edificios y otras estructuras para inundaciones, viento, tornado, nieve, sismos, y cargas de hielo

Una vez establecido la categoría de riesgo se procede a determinar el Factor de Importancia Sísmico I_e . Se puede observar como las categorías III y IV tienen factores de importancia mayores. Lo que pretende el código con esto es dar mayores resistencias, y por tanto menores daños y deformaciones a estructuras cuyas fallas representan un riesgo mayor a la población, este factor es tomado de la tabla 1.5-2

Table 1.5-2. Importance Factors by Risk Category of Buildings and Other Structures for Earthquake Loads.

Risk Category from Table 1.5-1	Seismic Importance Factor, I_e
I	1.00
II	1.00
III	1.25
IV	1.50

Tabla 1.5-2 Factor de importancia por categoría de riesgo

2.1.1 Valores del movimiento sísmico del suelo.

A partir de la sección 11.4 comienzan a establecerse criterios relacionados a las intensidades de movimientos del suelo que se aplicaran de igual manera para cualquiera de las categorías vistas anteriormente en la sección 11.1.3.

2.1.2 Clase de sitio

Como siguiente paso para el análisis es necesario determinar la Clase de Sitio, las cuales pueden ser A, B, BC, C, CD, D, DE, E o F. La clase de sitio se determina a partir de la velocidad de onda de corte promedio “ v_s ” y con la tabla 20.2-1.

Table 20.2-1. Site Classification.

Site Class	\bar{v}_s Calculated Using Measured or Estimated Shear Wave Velocity Profile (ft/s)
A. Hard rock	>5,000
B. Medium hard rock	>3,000 to 5,000
BC. Soft rock	>2,100 to 3,000
C. Very dense sand or hard clay	>1,450 to 2,100
CD. Dense sand or very stiff clay	>1,000 to 1,450
D. Medium dense sand or stiff clay	>700 to 1,000
DE. Loose sand or medium stiff clay	>500 to 700
E. Very loose sand or soft clay	≥ 500
F. Soils requiring site response analysis in accordance with Section 21.1	See Section 20.2.1

Note: For SI: 1 ft = 0.3048 m; 1 ft/s = 0.3048 m/s.

Tabla 20.2-1 Clasificación de sitio

2.1.3 Movimientos de terreno del máximo sismo considerado de objetivo de riesgo (MCE_R)

Uno de los conceptos nuevos introducidos en esta normativa, es el Máximo Sismo Considerado De Objetivo de Riesgo (MCE_R por sus siglas en ingles), este nuevo concepto está definido como el nivel de movimiento de terreno de un sitio que representa un riesgo de colapso del 1% en 50 años. Lo importante de este nuevo concepto es que introduce los parámetros necesarios para el cálculo de las fuerzas sísmicas. Estos conceptos son:

S_{MS} = parámetro de aceleración de respuesta espectral en periodos cortos para el MCE_R con amortiguamiento del 5%, ajustado para la clase de sitio.

S_{M1} = parámetro de aceleración de respuesta espectral en el periodo de 1 s para el MCE_R con amortiguamiento del 5%, ajustado para la clase de sitio.

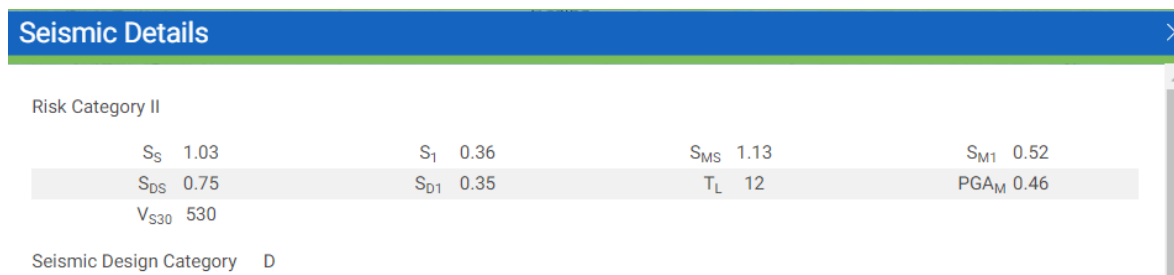
S_s = parámetro de aceleración de respuesta espectral en el periodo de 0.2 s para el MCE_R con amortiguamiento del 5%, para clase de sitio BC.

S_1 = parámetro de aceleración de respuesta espectral en el periodo de 1 s para el MCER con amortiguamiento del 5%, para clase de sitio BC.

Estos 4 parámetros, se obtienen exclusivamente de la base de datos ASCE 7 HAZARD TOOL (Descrito en el apartado 1.6 de este trabajo).

Anteriormente hasta la versión del ASCE 7-16 los parámetros S_s y S_1 podían obtenerse de manera visual a través de los mapas ilustrados dentro de la misma normativa de acuerdo a la ubicación destinada. Sin embargo, en la nueva versión ASCE 7-22 estos mapas han sido removidos del documento, así mismo los parámetros S_{MS} y S_{M1} eran calculados como el producto de S_s y S_1 y los factores de sitio F_a y F_v respectivamente. Ya que estos factores de sitio también han sido removidos de la versión actual de la norma y se encuentran implícitos en la base de datos.

Como ejemplo, la figura 2.1, es una captura de pantalla de los parámetros sísmicos de una estructura de categoría de riesgo II de una zona aleatoria de los Estados Unidos, obtenidos a través de la base de datos ASCE 7 HAZARD TOOL (Herramienta de peligro ASCE 7).



Seismic Details			
Risk Category II			
S_s 1.03	S_1 0.36	S_{MS} 1.13	S_{M1} 0.52
S_{DS} 0.75	S_{D1} 0.35	T_L 12	PGA_M 0.46
V_{S30} 530			
Seismic Design Category D			

Figura 2.1 parámetros sísmicos obtenidos a través de la base de datos del ASCE 7, herramienta de peligro ASCE 7

Como se puede observar en la figura 2.1, la herramienta de peligro ASCE 7, además de los 4 parámetros exclusivos mencionados anteriormente, nos proporciona todos los parámetros necesarios para el análisis sísmico.

S_{DS} = parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño en periodos cortos

S_{D1} = parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño en el periodo de 1 s

2.1.4 Espectro de respuesta de diseño

Un cambio importante en la nueva versión del ASCE 7-22 se encuentra en el espectro de diseño. En esta actualización del código se ha implementado un nuevo espectro de respuesta de diseño llamado “espectro de diseño multiperiodo”. Se denomina multiperiodo debido a la discretización de la curva del espectro en múltiples valores de periodos: 0.0 s, 0.01 s, 0.02 s, 0.03 s, 0.05 s, 0.075 s, 0.1 s, 0.15 s, 0.2 s, 0.25 s, 0.3 s, 0.4 s, 0.5 s, 0.75 s, 1.0 s, 1.5 s, 2.0 s, 3.0 s, 4.0 s, 5.0 s, 7.5 s y 10 s. La figura 2.2 es un ejemplo del nuevo espectro de diseño multiperiodo.

Siempre que un procedimiento del estándar requiera un espectro de respuesta de diseño, este deberá ser el espectro de diseño multiperiodo, y únicamente se puede obtener de la base de datos de la herramienta de peligro ASCE 7. Cuando no se encuentre la información correspondiente del espectro para un sitio determinado, entonces el código permite determinar el espectro de diseño de dos periodos clásico (espectro de cuatro ramas). Si se desea utilizar el espectro de diseño “clásico”, la herramienta de peligro ASCE 7 también lo puede proporcionar, o también puede ser calculado de forma manual según lo establece el capítulo 11.4.5.2 del estándar ASCE 7-22. La figura 2.3 es un ejemplo del espectro de diseño de dos periodos obtenido de la base de datos (herramienta de peligro ASCE 7).

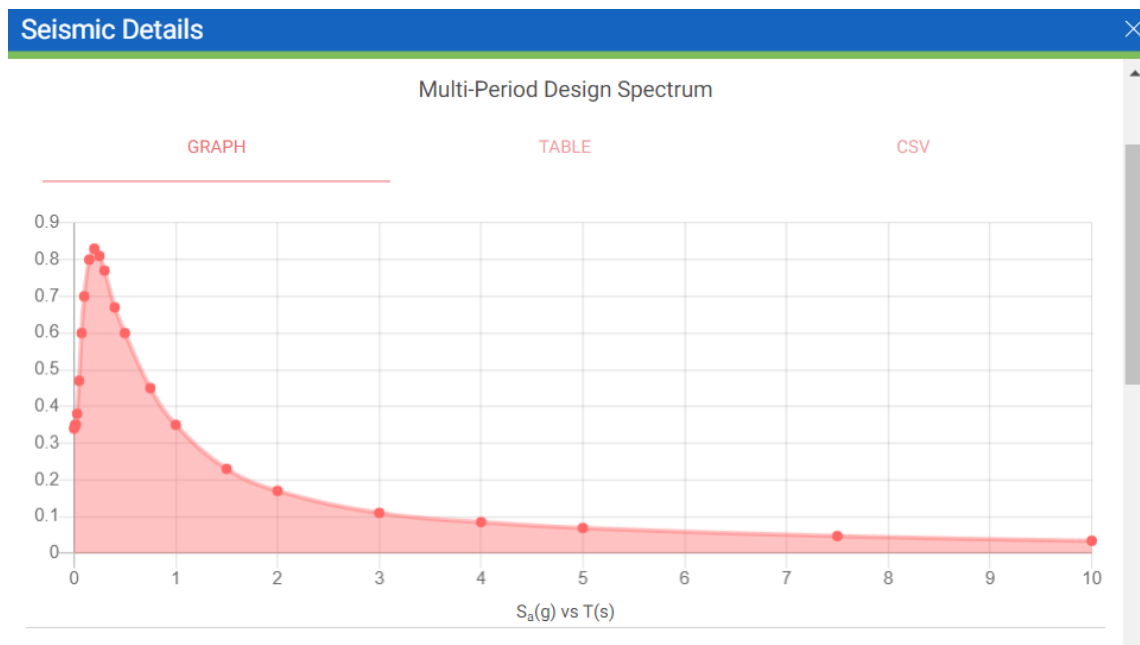


Figura 2.2 Ejemplo de espectro de diseño multiperiodo obtenido de la base de la herramienta de peligro ASCE 7

Two-Period Design Spectrum

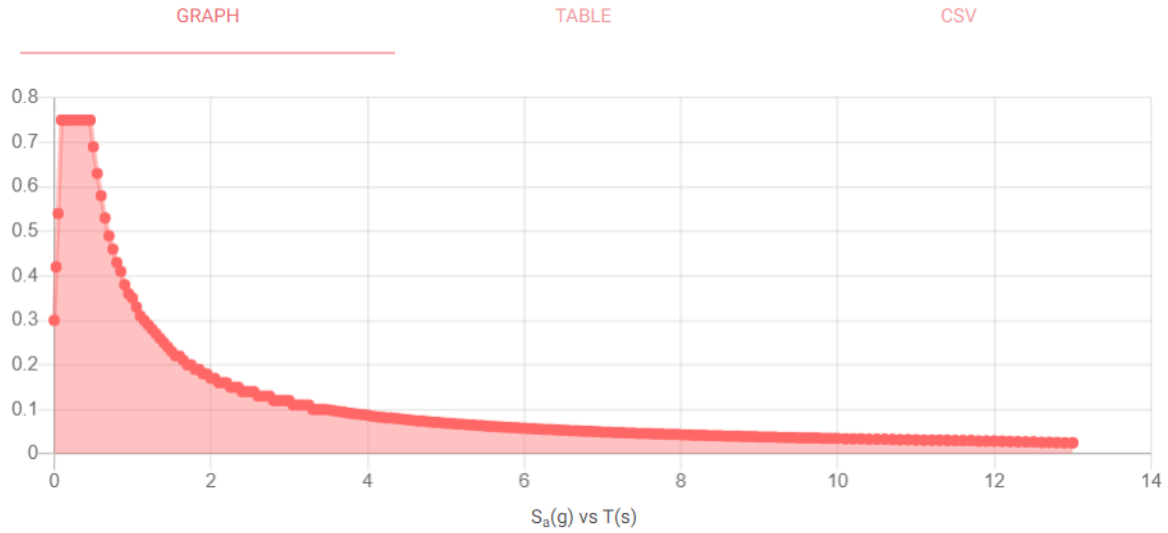


Figura 2.3 Ejemplo de espectro de diseño de dos periodos obtenido de la herramienta de peligro ASCE 7

2.1.5 Categoría de diseño sísmico basado en parámetros de aceleración de respuesta

La categoría de diseño sísmico se define de acuerdo a la sección 11.6. Esta categorización se determina con las tablas 11.6-1 y 11.6-2 a partir de la categoría de riesgo y los parámetros de aceleración espectral S_{DS} y S_{D1} encontrados anteriormente.

Table 11.6-1. Seismic Design Category Based on Short-Period Response Acceleration Parameter.

Value of S_{DS}	Risk Category	
	I or II or III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabla 11.6-1 Categoría de diseño sísmico basada en el parámetro de aceleración de respuesta de período corto.

Table 11.6-2. Seismic Design Category Based on 1 s Period Response Acceleration Parameter.

Value of S_{D1}	Risk Category	
	I or II or III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	

Tabla 11.6-2 Categoría de diseño sísmico basada en el parámetro de aceleración de respuesta de período de 1 s.

2.1.6 Selección del sistema estructural

Como siguiente paso es determinar el sistema básico de resistencia a fuerzas sísmicas laterales y verticales de la estructura, este sistema de resistencia debe ser conforme a uno de los tipos indicados en la Tabla 12.2-1 o una combinación de sistemas según lo permitido en las Secciones 12.2.2, 12.2.3 y 12.2.4 del standard ASCE 7-22 (Capítulos que se omitirán en este trabajo por ser casos más particulares). Cada sistema se subdivide por los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas laterales. Los sistemas estructurales utilizados deben estar de acuerdo con las limitaciones del sistema estructural y los límites de altura estructural, h_n , contenidos en la Tabla 12.2-1. El coeficiente de modificación de respuesta apropiado, R ; factor de sobre resistencia, Ω_0 ; y el factor de amplificación de la deflexión, C_d , indicado en la Tabla 12.2-1 se utilizará para determinar el cortante basal, las fuerzas de diseño del elemento y las distorsiones de entrepiso de diseño.

La tabla 12.2.-1 de este trabajo se encuentra incompleta, debido a que el contenido de la misma es muy amplio se decidió resumir, dejando solo la parte que es de interés para este trabajo.

Table 12.2-1. Design Coefficients and Factors for Seismic Force-Resisting Systems.

Seismic Force-Resisting System	ASCE 7 Section Where Detailing Requirements Are Specified	Response Modification Coefficient, R^a	Overstrength Factor, Ω_o^b	Deflection Amplification Factor, C_d^c	Structural System Limitations Including Structural Height, h_n , Limits (ft) ^d				
					Seismic Design Category				
					B	C	D ^e	E ^f	F ^g
C. MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEMS									
1. Steel special moment frames	14.1 and 12.2.5.5	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
2. Steel special truss moment frames	14.1	7	3	5½	NL	NL	160	100	NP
3. Steel intermediate moment frames	12.2.5.7 and 14.1	4½	3	4	NL	NL	35 ^h	NP ^k	NP ^k
4. Steel ordinary moment frames	12.2.5.6 and 14.1	3½	3	3	NL	NL	NP ^l	NP ^l	NP ^l
5. Special reinforced concrete moment frames ^m	12.2.5.5 and 14.2	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
6. Intermediate reinforced concrete moment frames	14.2	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
7. Ordinary reinforced concrete moment frames	14.2	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
8. Steel and concrete composite special moment frames	12.2.5.5 and 14.3	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
9. Steel and concrete composite intermediate moment frames	14.3	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
10. Steel and concrete composite partially restrained moment frames	14.3	6	3	5½	160	160	100	NP	NP
11. Steel and concrete composite ordinary moment frames	14.3	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
12. Cold-formed steel—special bolted moment frame ⁿ	14.1	3½	3 ⁿ	3½	35	35	35	35	35

^a Response modification coefficient, R , for use throughout the standard. Note that R reduces forces to a strength level, not an allowable stress level.
^b Where the tabulated value of the overstrength factor, Ω_o , is greater than or equal to 2½, Ω_o is permitted to be reduced by subtracting the value of 1/2 for structures with flexible diaphragms.
^c Deflection amplification factor, C_d , for use in Sections 12.8.6, 12.8.7, 12.9.1.2, and 12.12.
^d NL = Not Limited, and NP = Not Permitted. For metric SI units, multiply by 0.348 m/ft and round to the nearest 0.1 m.
^e See Section 12.2.5.4 for a description of seismic force-resisting systems limited to buildings with a structural height, h_n , of 240 ft (73.2 m) or less.
^f See Section 12.2.5.4 for seismic force-resisting systems limited to buildings with a structural height, h_n , of 160 ft (48.8 m) or less.
^g In Section 2.3 of ACI 318. A shear wall is defined as a structural wall.
^h In Section 2.3 of ACI 318. The definition of "special structural wall" includes precast and cast-in-place construction.
ⁱ An increase in structural height, h_n , to 45 ft (13.7 m) is permitted for single-story storage warehouse facilities.
^j Steel ordinary concentrically braced frames are permitted in single-story buildings up to a structural height, h_n , of 60 ft (18.3 m) where the dead load of the roof does not exceed 20 lb/ft² (0.96 kN/m²) and in penthouse structures.
^k See Section 12.2.5.7 for limitations in structures assigned to Seismic Design Categories D, E, or F.
^l See Section 12.2.5.6 for limitations in structures assigned to Seismic Design Categories D, E, or F.
^m In Section 2.3 of ACI 318, the definition of "special moment frame" includes precast and cast-in-place construction.
ⁿ Cold-formed steel—special bolted moment frames shall be limited to one story in height in accordance with ANSI/AISI S400.
^o Alternately, the seismic load effect including overstrength, E_{oh} , is permitted to be based on the expected strength determined in accordance with ANSI/AISI S400.
^p Ordinary moment frame is permitted to be used in lieu of intermediate moment frame for Seismic Design Category B or C.
^q Structural height, h_n , shall not be less than 60 ft (18.3m).

Tabla 12.2-1 Coeficientes y factores de diseño para sistemas resistentes a fuerzas sísmicas.

2.1.7 Selección del procedimiento de análisis

El estándar ASCE 7-22 menciona que existen varios tipos de análisis sísmicos

- Método de fuerza lateral equivalente (Capítulo 12.8 del ASCE 7-22).
- Análisis modal espectral (Capítulo 12.9.1 del ASCE 7-22).
- Análisis lineal tiempo – historia (Capítulo 12.9.2 del ASCE 7-22).
- Análisis no lineal tiempo – historia (Capítulo 16 del ASCE 7-22).

*También se pueden realizar análisis alternos, siempre y cuando estén aprobados por las autoridades competentes

Este trabajo se centrará en el primer método, método de fuerza lateral equivalente, ya que es el método más práctico y la estructura que se busca analizar es una estructura sencilla que no necesita análisis más rigurosos.

2.2. Método de fuerza lateral equivalente

El método de análisis de fuerzas equivalentes laterales se realiza de acuerdo a lo indicado en la sección 12.8 del standard ASCE 7-22. La idea principal de este método es determinar la magnitud del cortante basal y distribuirla en fuerzas puntuales laterales en cada nivel.

Para poder comenzar con el método ELF es necesario conocer el periodo fundamental “T” en la dirección de análisis en cuestión. Existen procedimientos determinados por el standard para estimar el periodo fundamental aproximado en una dirección dada, sin embargo, el periodo a utilizar debe ser determinado bajo un análisis debidamente fundamentado que contemple la rigidez de los elementos sismorresistentes. Esto puede realizarse bajo un análisis modal del modelo matemático definido, lo cual es muy común en la práctica de la ingeniería estructural hoy en día. Cuando no se cuente con un modelo de computo para estimar el periodo fundamental de la estructura “T”, es válido utilizar el periodo fundamental aproximado T_a , este periodo se calcula con la siguiente ecuación :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (12.8-8)$$

Donde

- h_n = es la altura de la estructura, que es la distancia vertical desde la base hasta el nivel más alto del sistema resistente a fuerzas sísmicas de la estructura. Para techos inclinados o inclinados, la altura estructural es desde la base hasta la altura promedio del techo.
- Los valores de las constantes “ C_t ” y “ x ” son tomados de la tabla 12.8-2

Table 12.8-2. Values of Approximate Period Parameters C_t and x .

Structure Type	C_t	x
Moment-resisting frame systems in which the frames resist 100% of the required seismic force and are not enclosed or adjoined by components that are more rigid and will prevent the frames from deflecting where subjected to seismic forces:		
Steel moment-resisting frames	0.028 (0.0724)*	0.8
Concrete moment-resisting frames	0.016 (0.0466)*	0.9
Steel eccentrically braced frames in accordance with Table 12.2-1, line B1 or D1	0.03 (0.0731)*	0.75
Steel buckling-restrained braced frames	0.03 (0.0731)*	0.75
All other structural systems	0.02 (0.0488)*	0.75

*SI equivalents in parentheses.

Tabla 12.8-2 Valores para los parámetros de periodo aproximado

2.2.1 Coeficiente de respuesta sísmica C_s

Desde la nueva versión del código ASCE 7-22, existen dos métodos para el cálculo del coeficiente sísmico de respuesta C_s .

El primer método calcula C_s con la ecuación siguiente:

$$C_s = \frac{S_a}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (12.8-2)$$

El segundo método calcula C_s con la ecuación siguiente:

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (12.8-3)$$

Donde:

S_a = Ordenada de aceleración del espectro multiperiodo de diseño correspondiente al periodo fundamental de la dirección de análisis.

S_{DS} = Parámetro de aceleración espectral de diseño relacionada al rango de periodos cortos

R = Factor de modificación de respuesta

I_e = Factor de importancia

El primer método presenta la desventaja de la necesidad de la construcción del espectro de diseño multiperiodo y la necesidad de interpolar entre los valores de sus ordenadas espectrales para determinar la aceleración correspondiente al periodo fundamental de la dirección de análisis. Por otra parte, el segundo método, el cual además resulta ser el único usado en versiones anteriores, presenta la ventaja que todos los parámetros que emplea son ya conocidos. Otro punto a favor del segundo método es que este se vuelve necesario cuando el espectro multiperiodo de diseño no puede ser encontrado en la base de datos de la USGS haciendo inutilizable el primer método. Por estas razones se recomienda el cálculo del coeficiente C_s de acuerdo a la ecuación 12.8-3.

El valor del coeficiente C_s debe ser revisado que no sea mayor que los límites máximos calculados con las ecuaciones 12.8-4 y 12.8-5 ni que sea menor que el límite mínimo calculado con la ecuación 12.8-6. El coeficiente límite C_s max se calcula con el periodo T según la sección 12.8.2, el cual establece que T debe ser el periodo fundamental en la dirección de análisis obtenido de un análisis apropiado y que, además, T no debe exceder cierto limite calculado como sigue:

$$T_{max} = T_a C_u$$

Donde:

T_a = Periodo estructural aproximado, de acuerdo a la sección 12.8.2.1.

C_u = Coeficiente de límite superior para el periodo calculado, determinado de acuerdo a la tabla 12.8-1.

Table 12.8-1. Coefficient for Upper Limit on Calculated Period.

Design Spectral Response Acceleration Parameter at 1 s, S_{D1}	Coefficient C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Tabla 12.8-1 Coeficiente para el límite superior del periodo calculado

Límites máximos que “ C_s ” no debe exceder:

for $T \leq T_L$,

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (12.8-4)$$

and for $T > T_L$,

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e} \right)} \quad (12.8-5)$$

T_L : Es la transición de periodo largo, que se obtiene de la base de datos del ASCE 7

Límites mínimos por el que “ C_s ” no debe ser inferior:

$$C_s = 0.044S_{DS}I_e \geq 0.01 \quad (12.8-6)$$

Además, cuando el parámetro de aceleración S_I es mayor o igual a 0.6, C_s no debe ser menor que

$$C_s = 0.5S_I / (R/I_e) \quad (12.8-7)$$

Una vez definido C_s es posible calcular el cortante basal V , de acuerdo a la ecuación 12.8-1

2.2.2 Peso sísmico efectivo W

El peso efectivo para sismo, W , de acuerdo a la sección 12.7.2, que debe considerarse de acuerdo al ASCE es aquella porción de masa o peso que está físicamente sujeta a la estructura y que producen fuerzas inerciales durante los movimientos laterales de un sismo. Por tanto, la carga viva como muebles, equipo suelto y los ocupantes no necesitan ser incluidas. Existen cierto tipo de cargas vivas que pueden desarrollar fuerzas inerciales y que sí deben ser consideradas en el peso sísmico, por ejemplo, maquinaria y equipos permanente propiamente sujetos a la estructura como aires acondicionados y elevadores, almacenamiento de material y fluidos entre otros.

2.2.3 Cortante basal sísmica

El cortante base sísmico, V , en una dirección dada se determinará de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V = C_s W \quad (12.8-1)$$

Continuando con el método del ELF, el cortante basal debe ser distribuido en forma de fuerzas aplicadas en cada nivel de la estructura de acuerdo a la sección 12.8.3. La fuerza lateral equivalente correspondiente en cada nivel se determina con las siguientes ecuaciones:

$$F_x = C_{vx} V \quad (12.8-12)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (12.8-13)$$

Donde:

C_{vx} = Factor de distribución vertical

V = Fuerza lateral total o cortante basal

w_i, w_x = Porción del peso total efectivo W en el nivel i o x .

h_i, h_x = Altura desde la base hasta el nivel i o x

k = Exponente relacionado al periodo estructural.

El exponente k toma los siguientes valores:

$$k = 1.0 \text{ si } T \leq 0.5 \text{ s}$$

$$k = 2.0 \text{ si } T \geq 2.5 \text{ s}$$

para estructuras con valores de T entre 0.5 s y 2.5 s, k debe ser interpolado entre 1 y 2.

2.2.4 Carga sísmica

El efecto de la carga sísmica, E , incluye los efectos de los movimientos del suelo tanto horizontales como verticales, y estos son calculados con las ecuaciones (12.4-1) y la ecuación. (12.4-2).

$$E = E_h + E_v \quad (12.4-1)$$

$$E = E_h - E_v \quad (12.4-2)$$

Donde E_h es el efecto de las fuerzas sísmicas horizontales, y E_v es el efecto sísmico vertical aplicado en la dirección vertical hacia arriba y hacia abajo.

2.2.4.1 Carga sísmica horizontal

La carga sísmica horizontal es calculada con la ecuación 12.4-3

$$E_h = \rho Q_E \quad (12.4-3)$$

Donde Q_E son los efectos de las fuerzas sísmicas horizontales de V , y ρ es el factor de redundancia.

El factor de redundancia, ρ , puede tener dos valores distintos posibles, dependiendo de la categoría de diseño sísmico, ρ es igual 1 para las categorías B y C, y es igual 1.3 para las categorías D, E y F.

2.2.4.1 Carga sísmica vertical

La carga sísmica vertical es calculada con la ecuación 12.4-4

$$E_v = 0.2S_{DS}D \quad (12.4-4a)$$

Donde S_{DS} es el parámetro de aceleración de respuesta espectral de diseño en períodos cortos y D es el efecto de la carga muerta.

2.3 . ANALISIS SISMICO DE ACUERDO AL “STANDARD ASCE 7-22” EJEMPLO DE APLICACIÓN

Este capítulo consiste en aplicar los pasos vistos anteriormente para realizar el análisis sísmico de una estructura, específicamente de una nave industrial.

Antes de comenzar con el procedimiento de análisis sísmico se presenta el caso de estudio, el caso de estudio fue planteado y desarrollado con una configuración relativamente fácil para poder analizar y evaluar de forma rápida y práctica, esto con el fin de que el lector pueda comprender cada paso que se va ejecutando.

El caso de estudio consiste en una nave industrial destinada a ser un centro de distribución de diferentes productos comerciales, y cuenta con una geometría y dimensiones como se muestra en la figura 2.3.2 y 2.3.3, la figura 2.3.1 muestra el sitio en que se encuentra la estructura a analizar, Los Ángeles California.



Figura 2.3.1 Ubicación de la estructura a analizar (ASCE 7 HAZAR TOOL)

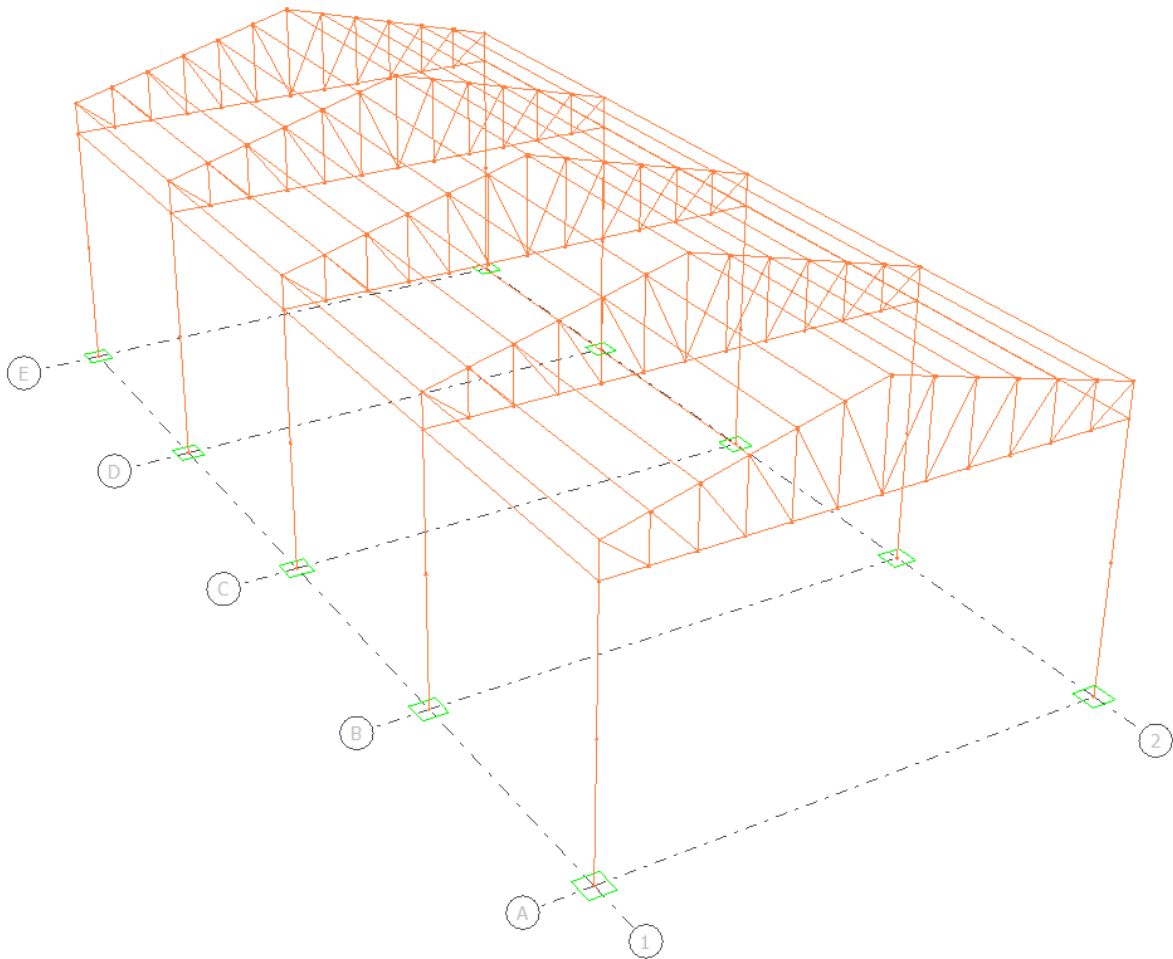


Figura 2.3.2 Modelado de la estructura caso de estudio (Software de análisis y diseño estructural ECOgcW3)

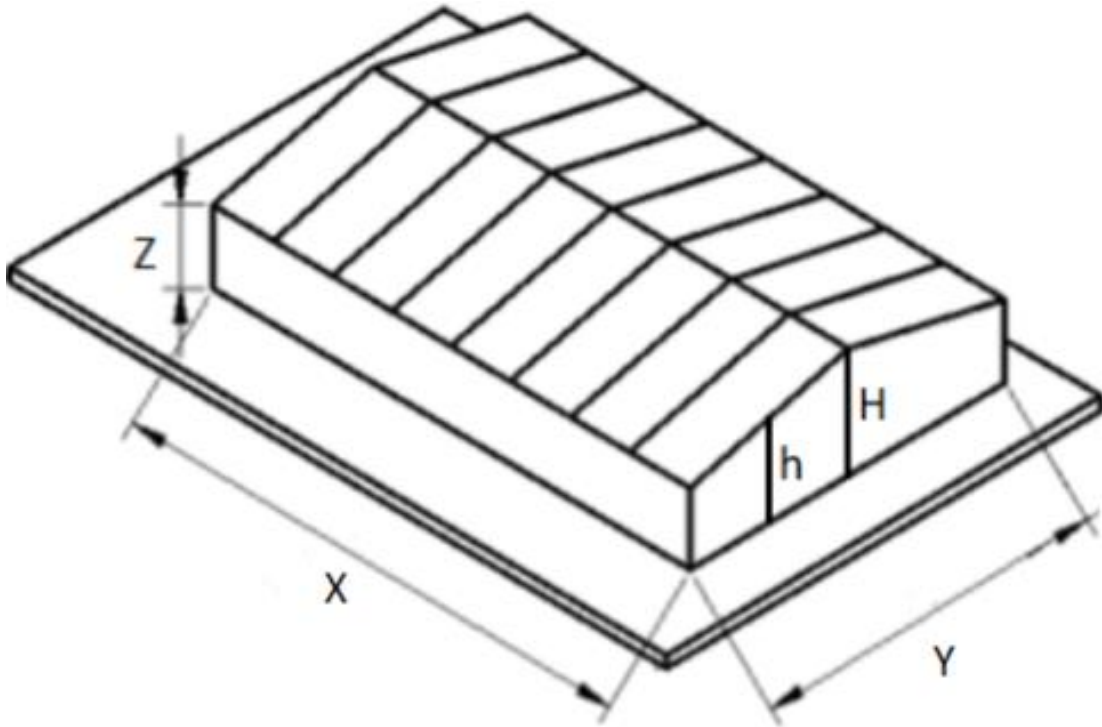


Figura 2.3.3 Geometría general de la estructura a analizar (vista isométrica)

Donde:

$$X := 32 \text{ m} = 104.99 \text{ ft} \quad \text{Largo de la estructura (dimensión mayor de la base)}$$

$$Y := 15 \text{ m} = 49.21 \text{ ft} \quad \text{Ancho de la estructura (dimensión menor de la base)}$$

$$Z := 9 \text{ m} = 29.53 \text{ ft} \quad \text{Altura baja de la estructura}$$

$$H := 11 \text{ m} = 36.09 \text{ ft} \quad \text{Altura máxima de la estructura}$$

$$h := \frac{(H+Z)}{2} = 10 \text{ m} \quad \text{Altura media de la estructura}$$

$$\theta := \text{atan} \left(\frac{(H-Z)}{\left(\frac{Y}{2}\right)} \right) = 14.93 \text{ deg} \quad \text{Ángulo de pendiente de la cubierta}$$

Pasos que seguir para determinar las cargas sísmicas de una nave industrial

Paso 1.- Determinar categoría de riesgo de la estructura, ver tabla 1.5-1 del standard ASCE 7-22.

Paso 2.- Determinar importancia de la estructura por categoría de riesgo, ver tabla 1.5-2 del manual ASCE 7-22.

Paso 3.- Selección de la clasificación de sitio, ver tabla 20.2-1 del manual ASCE 7-22.

Paso 4.- Obtención de los parámetros sísmicos, Obtenidos de la herramienta de peligro ASCE 7 (ASCE 7 HAZARD TOOL <https://asce7hazardtool.online/>).

Paso 5.- Categoría de diseño sísmico, Sección 11.6 del standard ASCE 7-22, tabla 11.6-1 y tabla 11.6-2.

Paso 6.- Selección del sistema estructural sismo resistente, Sección 12.2 del standard ASCE 7-22, tabla 12.2-1.

Paso 7.- Selección del método de análisis, Método De Fuerza Lateral Equivalente, Sección 12.8 del standard ASCE 7-22.

Paso 8.- Determinar periodo de la estructura, Sección 12.8.2 del standard ASCE 7-22.

Paso 9.- Determinar coeficiente de respuesta sísmica, Sección 12.8.1.1 del standard ASCE 7-22.

Paso 10- Determinar cortante basal sísmica, Ecuación 12.8-1 del standard ASCE 7-22.

Paso 11- Cargas sísmicas, Sección 12.4.2 del standard ASCE 7-22.

Paso 1.- Determinar categoría de riesgo de la estructura, ver tabla 1.5-1 del standard ASCE 7-22.

El objeto de estudio en cuestión es una nave industrial, cuyo uso será un centro de distribución de diferentes productos comerciales, la falla de una estructura como esta no es considerada como un riesgo sustancial para la vida humana o de alto impacto para la sociedad ,pero al mismo tiempo, no representa un bajo riesgo, por tanto, se podría categorizar esta estructura con un factor de riesgo tipo II

Table 1.5-1. Risk Category of Buildings and Other Structures for Flood, Wind, Tornado, Snow, Earthquake, and Ice Loads.

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

*Buildings and other structures containing toxic, highly toxic, or explosive substances shall be eligible for classification to a lower risk category if it can be demonstrated to the satisfaction of the Authority Having Jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.3 that a release of the substances is commensurate with the risk associated with that risk category.

Tabla 1.5-1 Categoría de riesgo de edificios y otras estructuras para inundaciones, viento, tornado, nieve, sismos, y cargas de hielo

Paso 2.- Determinar importancia de la estructura por categoría de riesgo, ver tabla 1.5-2 del manual ASCE 7-22.

Una vez conocida la Categoría de riesgo se procede a determinar el Factor de Importancia Sísmico I_e basado en la categoría de riesgo de la estructura, determinado en el paso 1.

Table 1.5-2. Importance Factors by Risk Category of Buildings and Other Structures for Earthquake Loads.

Risk Category from Table 1.5-1	Seismic Importance Factor, I_e
I	1.00
II	1.00
III	1.25
IV	1.50

Tabla 1.5-2 Factor de importancia por categoría de riesgo

Paso 3.- Selección de la clasificación de sitio, ver tabla 20.2-1 del manual ASCE 7-22.

Suponiendo que la nave industrial estará ubicada en un terreno con ondas de corte con velocidades oscilante entre los 1450 a 2100 ft/s, la clase de sitio seria de clase C

Table 20.2-1. Site Classification.

Site Class	\bar{v}_s Calculated Using Measured or Estimated Shear Wave Velocity Profile (ft/s)
A. Hard rock	>5,000
B. Medium hard rock	>3,000 to 5,000
BC. Soft rock	>2,100 to 3,000
C. Very dense sand or hard clay	>1,450 to 2,100
CD. Dense sand or very stiff clay	>1,000 to 1,450
D. Medium dense sand or stiff clay	>700 to 1,000
DE. Loose sand or medium stiff clay	>500 to 700
E. Very loose sand or soft clay	≥ 500
F. Soils requiring site response analysis in accordance with Section 21.1	See Section 20.2.1

Note: For SI: 1 ft = 0.3048 m; 1 ft/s = 0.3048 m/s.

Tabla 20.2-1 Clasificación de sitio

Paso 4.- Obtención de los parámetros sísmicos, Obtenidos de la herramienta de peligro ASCE 7 (ASCE 7 HAZARD TOOL <https://asce7hazardtool.online/>).

Por practicidad y aprovechando los recursos que se nos ofrecen, los parámetros sísmicos se obtuvieron a través de la base de datos del ASCE 7 HAZARD TOOL. En el apartado 1.5 de este trabajo se describen los pasos a seguir para utilizar la herramienta de peligro ASCE 7

Seismic Details			
Risk Category II			
S_S	1.03	S_1	0.36
S_{DS}	0.75	S_{D1}	0.35
V_{S30}	530	S_{MS}	1.13
		T_L	12
		S_{M1}	0.52
		PGA_M	0.46
Seismic Design Category D			

Figura 2.3.4 parámetros sísmicos obtenidos a través de la base de datos del ASCE 7, herramienta de peligro ASCE 7

Multi-Period Design Spectrum

GRAPH

TABLE

CSV

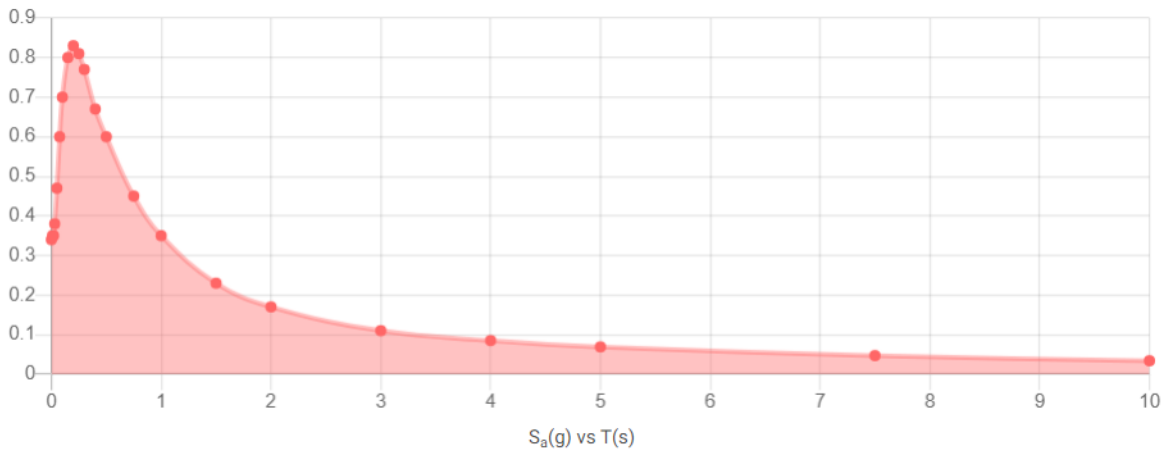


Figura 2.3.5 Espectro de diseño multiperiodo de la zona donde se encuentra la estructura, herramienta de peligro ASCE 7

Multi-Period MCE_R Spectrum

GRAPH

TABLE

CSV

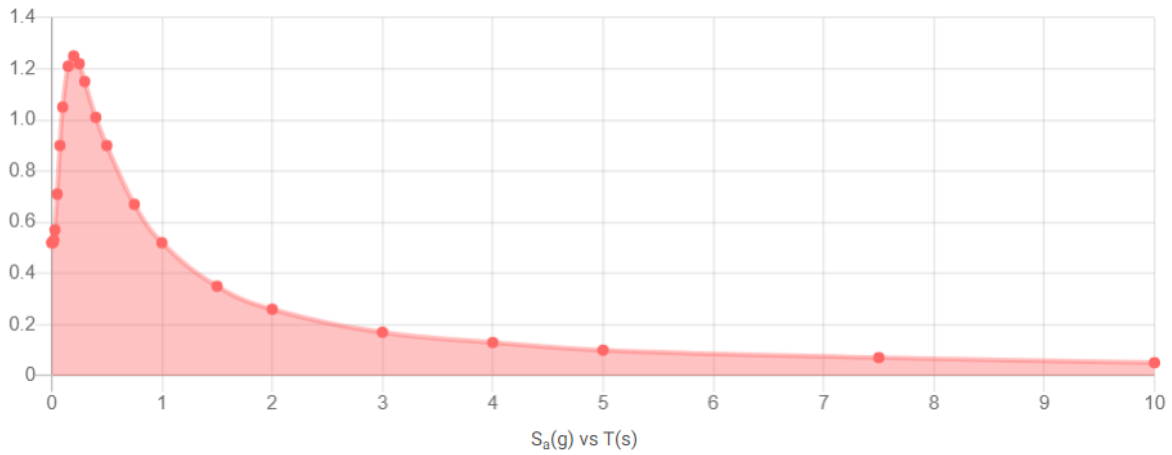


Figura 2.3.6 Espectro multiperiodo del máximo sismo considerado de objetivo de riesgo de la zona obtenido de la base de datos del ASCE 7, herramienta de peligro ASCE 7

Paso 5.- Categoría de diseño sísmico, Sección 11.6 del standard ASCE 7-22, tabla 11.6-1 y tabla 11.6-2.

Una vez obtenidos los parámetros sísmicos de la base de datos del ASCE 7, se estima la categoría de diseño sísmico, que se basa en los periodos de aceleración de respuesta.

Del paso 4 se obtuvo que:

$$S_{DS} = 0.75$$

$$S_{DS} = 0.35$$

Table 11.6-1. Seismic Design Category Based on Short-Period Response Acceleration Parameter.

Value of S_{DS}	Risk Category	
	I or II or III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabla 11.6-1 Categoría de diseño sísmico basada en el parámetro de aceleración de respuesta de período corto.

Table 11.6-2. Seismic Design Category Based on 1 s Period Response Acceleration Parameter.

Value of S_{D1}	Risk Category	
	I or II or III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

Tabla 11.6-2 Categoría de diseño sísmico basada en el parámetro de aceleración de respuesta de período de 1 s.

De las tablas 11.6-1 y 11.6-2 se determina que la categoría de diseño es “D”, el dato también es confirmado de la figura 2.3.4, la herramienta de peligro también nos proporciona el dato.

Paso 6.- Selección del sistema estructural sismo resistente, Sección 12.2 del standard ASCE 7-22, tabla 12.2-1.

Table 12.2-1. Design Coefficients and Factors for Seismic Force-Resisting Systems.

Seismic Force-Resisting System	ASCE 7 Section Where Detailing Requirements Are Specified	Response Modification Coefficient, R^a	Overstrength Factor, Ω_o^b	Deflection Amplification Factor, C_d^c	Structural System Limitations Including Structural Height, h_n , Limits (ft) ^d				
					Seismic Design Category				
					B	C	D ^e	E ^e	F ^f
C. MOMENT-RESISTING FRAME SYSTEMS									
1. Steel special moment frames	14.1 and 12.2.5.5	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
2. Steel special truss moment frames	14.1	7	3	5½	NL	NL	160	100	NP
3. Steel intermediate moment frames	12.2.5.7 and 14.1	4½	3	4	NL	NL	35 ^k	NP ^k	NP ^k
4. Steel ordinary moment frames	12.2.5.6 and 14.1	3½	3	3	NL	NL	NP ^l	NP ^l	NP ^l
5. Special reinforced concrete moment frames ^m	12.2.5.5 and 14.2	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
6. Intermediate reinforced concrete moment frames	14.2	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
7. Ordinary reinforced concrete moment frames	14.2	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
8. Steel and concrete composite special moment frames	12.2.5.5 and 14.3	8	3	5½	NL	NL	NL	NL	NL
9. Steel and concrete composite intermediate moment frames	14.3	5	3	4½	NL	NL	NP	NP	NP
10. Steel and concrete composite partially restrained moment frames	14.3	6	3	5½	160	160	100	NP	NP
11. Steel and concrete composite ordinary moment frames	14.3	3	3	2½	NL	NP	NP	NP	NP
12. Cold-formed steel—special bolted moment frame ⁿ	14.1	3½	3 ^o	3½	35	35	35	35	35

Coefficiente de modificación de respuesta $R = 8$

Factor de sobre resistencia $\Omega_0 = 3$

Factor de amplificación de la deflexión $C_d = 5.5$

De acuerdo a la sección 12.3.4, cuando se cuenta con categoría de diseño sísmico D, el factor de redundancia r debe ser igual a 1.3 para combinaciones de carga para diseño por resistencia.

Paso 7.- Selección del método de análisis, Método De Fuerza Lateral Equivalente, Sección 12.8 del standard ASCE 7-22.

Uno de los métodos de cálculo mayormente utilizados en la práctica es el método de fuerza lateral equivalente (ELF), además de ser de los más sencillos, la estructura a analizar es relativamente sencilla, por lo que no se considera necesario utilizar otro método.

Paso 8.- Determinar periodo de la estructura, Sección 12.8.2 del standard ASCE 7-22.

Antes de comenzar el procedimiento del análisis ELF, se hace un recuento de los parámetros que se tienen definidos hasta ahora:

Categoría de Riesgo = II

Clase de Sitio = C

Categoría de Diseño Sísmico = D
 Factor de Importancia $I_e = 1.00$
 Coeficiente de modificación de respuesta $R = 8$
 Factor de sobrerresistencia $\Omega_0 = 3$
 Factor de amplificación de la deflexión $C_d = 5.5$
 Factor de redundancia $\rho = 1.3$
 Periodo de transición $T_L = 12$

$$S_s = 1.03 \quad S_1 = 0.36$$

$$S_{MS} = 1.13 \quad S_{M1} = 0.52$$

$$S_{DS} = 0.75 \quad S_{D1} = 0.35$$

Como primer paso del análisis ELF es necesario obtener el valor del periodo fundamental. Para este ejemplo de aplicación se considerará que no se cuenta con modelo de cómputo que nos proporcione el periodo fundamental de la estructura, esto con el objeto de inmiscuirse en la normativa ASCE 7, por tanto, cuando no se cuente con un modelo de cómputo para estimar el periodo fundamental de la estructura “T”, es válido utilizar el periodo fundamental aproximado T_a , este periodo se calcula con la siguiente ecuación :

$$T_a = C_t h_n^x \quad (12.8-8)$$

Table 12.8-2. Values of Approximate Period Parameters C_t and x .

Structure Type	C_t	x
Moment-resisting frame systems in which the frames resist 100% of the required seismic force and are not enclosed or adjoined by components that are more rigid and will prevent the frames from deflecting where subjected to seismic forces:		
Steel moment-resisting frames	0.028 (0.0724)*	0.8
Concrete moment-resisting frames	0.016 (0.0466)*	0.9
Steel eccentrically braced frames in accordance with Table 12.2-1, line B1 or D1	0.03 (0.0731)*	0.75
Steel buckling-restrained braced frames	0.03 (0.0731)*	0.75
All other structural systems	0.02 (0.0488)*	0.75

*SI equivalents in parentheses.

Tabla 12.8-2 Valores para los parámetros de periodo aproximado

$$C_t := 0.028$$

$$h_n := 32.81$$

$$x := 0.8$$

$$T_a := C_t \cdot (h_n)^x = 0.457$$

Paso 9.- Determinar coeficiente de respuesta sísmica, Sección 12.8.1.1 del standard ASCE 7-22.

Se calculará el coeficiente C_s de acuerdo a la ecuación 12.8-3.

$$S_{DS} := 0.75$$

$$I_e := 1$$

$$R := 8$$

$$C_s := \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0.094$$

Una vez obtenido el coeficiente C_s se procede a verificar que el coeficiente está dentro de los límites superior e inferior.

Table 12.8-1. Coefficient for Upper Limit on Calculated Period.

Design Spectral Response Acceleration Parameter at 1 s, S_{D1}	Coefficient C_u
≥ 0.4	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
≤ 0.1	1.7

Tabla 12.8-1 Coeficiente para el límite superior del periodo calculado

Para $S_{D1} = 0.35$ se tiene que $C_u = 1.4$

Límite superior

for $T \leq T_L$,

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (12.8-4)$$

$$S_{D1} := 0.35$$

$$T := T_a = 0.457$$

$$C_s := \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)} = 0.096$$

El coeficiente de respuesta sísmica está por debajo del límite superior, por tanto, cumple con esta condición.

Límite inferior

$$C_s = 0.044 S_{DS} I_e \geq 0.01 \quad (12.8-6)$$

$$S_{DS} := 0.75 \quad I_e := 1$$

$$C_s := 0.044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0.033$$

El coeficiente de respuesta sísmica está por encima del límite inferior, por tanto, cumple con esta condición.

Paso 10- Determinar cortante basal sísmica, Ecuación 12.8-1 del standard ASCE 7-22.

El peso efectivo para sismo, W, que debe considerarse de acuerdo al ASCE es aquella porción de masa o peso que está físicamente sujeta a la estructura y que producen fuerzas inerciales durante los movimientos laterales de un sismo. Por tanto, la carga viva como muebles, equipo suelto y los ocupantes no necesitan ser incluidas.

La estructura por analizar en cuestión es una nave industrial de un solo nivel, cuyo sistema de techo es ligero, y se le considera una carga de 20lb/ft² (98 kg/m²), el área de la cubierta es de 5166.557 ft² (480m²), por tanto:

$$W = 20 \text{ lb/ft}^2 \times 5166.557 \text{ ft}^2 = 103,331.14 \text{ lb}$$

$$W = 98 \text{ kg/m}^2 \times 480 \text{ m}^2 = 47,040 \text{ kg} = 47.04 \text{ Ton}$$

La masa tributaria correspondiente al nivel de la base puede despreciarse ya que no contribuye al peso sísmico para el cálculo del cortante basal. Conociendo el peso sísmico efectivo W, y el coeficiente sísmico de respuesta C_s, se procede a calcular el cortante basal:

$$V = C_s W = (0.094)(103331.14 \text{ lb}) = 9713.12 \text{ lb}$$

$$V = C_s W = (0.094)(47.04 \text{ Ton}) = 4.42 \text{ ton}$$

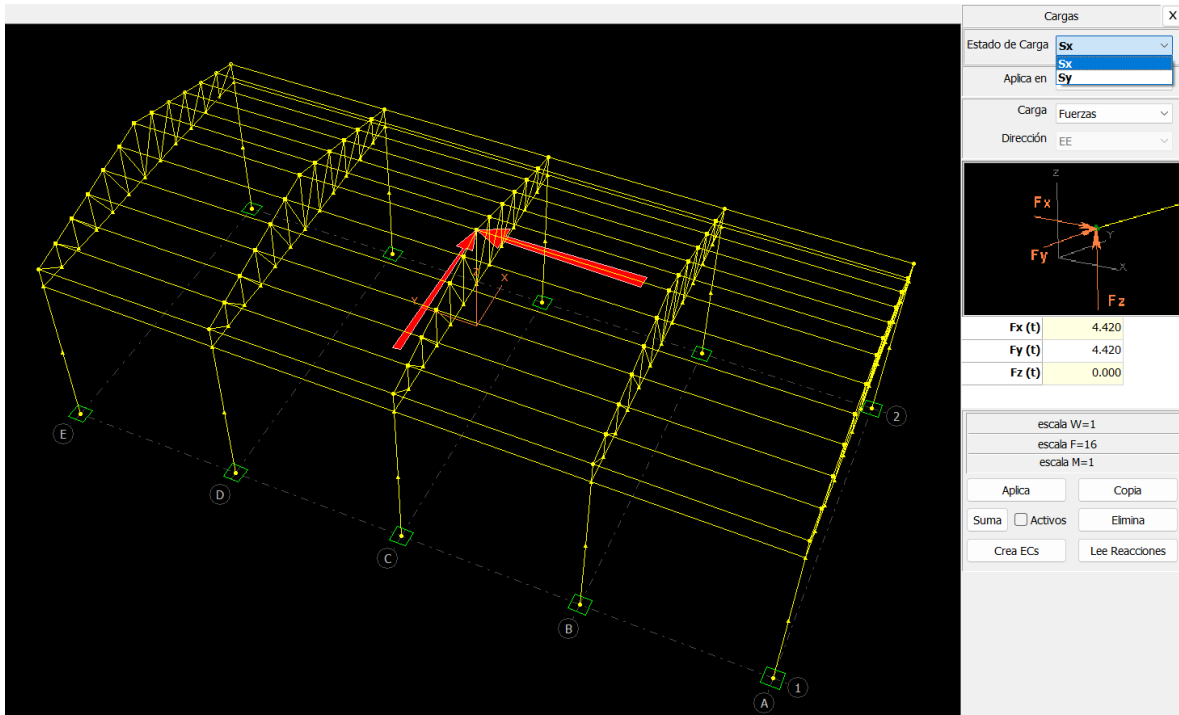
El cortante basal debe ser distribuido en forma de fuerzas aplicadas en cada nivel de la estructura, debido a que la estructura es solo de un nivel, a ese nivel se le aplicara toda la fuerza del cortante basal

$$F_x = 9713.12 \text{ lb}$$

$$F_x = 4.42 \text{ Ton}$$

Debido a que se está utilizando el periodo fundamental aproximado, que es al mismo tiempo el periodo máximo, es el periodo considerado tanto en sentido X como en sentido Y, por tanto, las fuerzas sísmicas en X y en Y son las mismas.

$$F_y = F_x = 9713.12 \text{ lb} = 4.42 \text{ Ton}$$



Debido a que la estructura es perfectamente simétrica, el centro de masas se ubica justo en medio de la estructura, y es donde se aplican las fuerzas sísmicas

Paso 11- Cargas sísmicas, Sección 12.4.2 del standard ASCE 7-22.

Carga sísmica horizontal

$$E_h = \rho Q_E \quad (12.4-3)$$

Donde Q_E son los efectos de las fuerzas sísmicas horizontales de V , y ρ es el factor de redundancia.

$$Q_E = V = 4.42 \text{ Ton}$$

$$\rho = 1.3$$

$$E_h = 5.74 \text{ Ton}$$

Carga sísmica vertical

$$E_v = 0.2S_{DS}D \quad (12.4-4a)$$

$$S_{DS} = 0.75$$

D es el efecto de la carga muerta, en este caso la masa de azotea, 47.04 Ton

$$E_v = (0.2)(0.75)(47.04 \text{ Ton}) = 7.056 \text{ Ton}$$

$$E = E_h + E_v \quad (12.4-1)$$

$$E = E_h - E_v \quad (12.4-2)$$

$$E_1 = 5.74 + 7.056 = 12.79 \text{ Ton}$$

$$E_2 = 5.74 - 7.056 = -1.316 \text{ Ton}$$

2.4 Estándar ASCE 7-22 y COREMUN

A lo largo del estudio del estándar ASCE 7-22, se notaron ciertas similitudes con la normativa actual que rigen el municipio de Puebla, probando que la normativa del COREMUN, tiene notable influencia de las normativas de Estados Unidos, sin embargo, también se resaltaron fuertes diferencias, esto debido a las actualizaciones periódicas del ASCE 7 y que la normativa del COREMUN esta influenciada en estándares pasados del ASCE-7. A continuación se enumeran algunos conceptos que muestran similitudes y diferencias entre ambas normas.

- ***Clasificación De Las Estructuras***

La normativa ASCE 7-22 categoriza a las estructuras por su uso u ocupación en función del riesgo que representan para la vida y el bienestar humano en caso de que la estructura falle, esta posible falla está asociada con cargas de inundación, viento, tornado, nieve, sismo, y hielo. Esta categoría va enumerada del 1 al 4 (en número romanos).

Categoría de riesgo de edificios para cargas de inundación, viento, tornado, nieve, terremoto y hielo (ASCE STANDARD/SEI 7-22)	
Uso u ocupación de la construcción	Categoría de riesgo
-Edificios y otras estructuras que representan bajo riesgo para la vida humana en caso de falla	I
-Todas las estructuras, a excepción de las mencionadas en las categorías de riesgo I, III, IV	II
-Edificios y otras estructuras, cuya falla podría representar un riesgo sustancial para la vida humana -Edificios y otras estructuras no incluidas en la Categoría de riesgo IV, con potencial para causar un impacto económico sustancial y/o una interrupción masiva de la vida civil cotidiana en caso de falla *-Edificios y otras estructuras no incluidas en la Categoría de riesgo IV (incluidas, entre otras, las instalaciones que fabrican procesan, manejan, almacenan, usan o desechan sustancias peligrosas, productos químicos peligrosos, desechos peligrosos o explosivos) que contengan sustancias tóxicas o explosivas cuando la cantidad del material supere una cantidad límite establecida por la autoridad competente y sea suficiente para representar una amenaza para el público si se libera	III
-Estructuras designadas como esenciales -Estructuras cuya falla podrían representar un peligro sustancial para la comunidad -Edificios y otras estructuras (incluidas, entre otras, las instalaciones que fabrican procesan, manipulan, almacenan, usan o eliminan sustancias como combustibles peligrosos, productos químicos peligrosos o desechos peligrosos) que contienen cantidades suficientes de sustancias altamente tóxicas cuando la cantidad del material exceda una cantidad límite establecida por la Autoridad competente y sea suficiente para representar una amenaza para el público si se libera -Edificios y otras estructuras requeridas para mantener la funcionalidad de otras estructuras de Categoría de riesgo IV	IV
*Las estructuras que contengan sustancias altamente tóxicas o explosivas serán elegibles para la clasificación en una categoría de menor riesgo si se puede demostrar a satisfacción de la autoridad competente, que una liberación de las sustancias es proporcional al riesgo asociado con esa categoría de riesgo.	

Tabla 2.4.1. Categoría de riesgo de edificios y otras estructuras, tomada del ASCE 7-22 tabla 1.5-1 traducida al español

El COREMUN clasifica a las estructuras en 3 grupos principalmente (Grupo A, Grupo B y Grupo C), y a su vez en subgrupos, esta clasificación está en base en la importancia y seguridad de la estructura, es decir, que tanto afectaría la integridad de la sociedad ante el fallo (colapso) de una edificación. Resumidamente esta clasificación es:

CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS POR COREMUN	
Ocupación o uso de la edificación	GRUPO
Construcciones cuya falla podría causar un número elevado de pérdidas de vidas, construcciones peligrosas por contener sustancias tóxicas o explosivas, y edificaciones cuyo funcionamiento es esencial ante una emergencia urbana, estas se subdividen en 2 subgrupos, A1 y A2	A
<ul style="list-style-type: none"> - Edificios que es necesario mantener en operación aún después de un sismo de magnitud importante, como: hospitales, aeropuertos, terminales y estaciones de transporte, instalaciones militares, centros de operación de servicios de emergencia, subestaciones eléctricas y nucleares, etc. - Construcciones o depósitos cuya falla puede implicar un severo peligro para la población, por contener cantidades importantes de sustancias tóxicas, inflamables o explosivas. 	A1
Estructuras cuya falla podría causar un impacto social importante, como la pérdida de material histórico y cultural, y estructuras que afectan a una población vulnerable, como: templos, estadios, escuelas primarias, etc.	A2
Son aquellas construcciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales, que no son incluidas en el Grupo A, estas se subdividen en 2, Subgrupo 1 y Subgrupo 2	B
Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6,000 m ² de área total construida, ubicadas en zonas con tipos de terreno I y II, y construcciones de más de 15 m de altura o más de 3,000 m ² de área total construida, en zonas con tipo de terreno III, edificaciones anexas a los hospitales, aeropuertos o terminales de transporte, como estacionamientos, restaurantes, así como edificios destinados a educación media superior y superior.	B1
Las demás de este grupo.	B2
Estructuras en que es admisible un grado de seguridad bajo. Construcciones cuya falla estructural ocasionaría pérdidas de magnitud sumamente pequeña.	C

Tabla 2.4.2. Clasificación de las estructuras según el COREMUN

- *Clasificación De Sitio o Suelo*

La normativa ASCE clasifica el suelo en base del parámetro de velocidad media de las ondas cortantes, que se deriva del perfil de velocidad de las ondas cortantes medido desde la superficie del suelo hasta una profundidad de 100 pies (30 m).

Clasificación del sitio (ASCE)			
Clase de sitio	Tipo de suelo	V _s , Calculado utilizando el perfil de velocidad de onda cortante medida o estimada (ft/s)	Ondas de Corte, V _s en m/s
A	Roca Dura	>5,000	>1524
B	Roca Medianamente dura	>3,000 a 5,000	>914 a 1524
BC	Roca Blanda	>2,100 a 3,000	>640 a 914
C	Arena muy densa o arcilla dura	>1,450 a 2,100	>441 a 640
CD	Arena densa o arcilla muy rígida	>1,000 a 1,450	>304 a 441
D	Arena medianamente densa o arcilla rígida	>700 a 1000	>213 a 304
DE	Arena suelta o arcilla media rígida	>500 a 700	>152 a 213
E	Arena muy suelta o arcilla blanda	≥ 500	>152
F	Suelos que requieren análisis de respuesta del sitio		

Tabla 2.4.3. Clasificación de sitio, tomada del ASCE 7-22 tabla 20.2-1 traducida al español

El COREMUN clasifica geotécnicamente una zona en base a las propiedades del terreno, y las clasifica en 3 tipos de suelos.

Clasificación geotécnica (Tipos de suelos según COREMUN)	
Parametros Mecanicos	Tipo
Roca o suelo muy compacto o duro con $T_s < 0.5s$ y $\beta_s > 350$ m/s, o en su defecto $N_s > 45$ para suelos granulares o $c_u > 15$ ton /m ² para suelos cohesivos.	I
Formación de suelo con $T_s < 0.5s$ y $\beta_s \leq 350$ m/s , o bien con $0.5 \leq T_s \leq 1.0$ s y $\beta_s \geq 150$ m/s , o en su defecto $15 \leq N_s \leq 45$ para suelos granulares o $2.5 \leq c_u \leq 5$ ton/ m ² para suelos cohesivos.	II
Formación de suelo con $T_s > 1.0s$ o bien con $0.5 \leq T_s = 1.0$ s y $\beta_s < 150$ m/s , o en su defecto $N_s < 15$ para suelos granulares o $c_u < 2.5$ ton/m ² para suelos cohesivos	III

Tabla 2.4.4. Clasificación del suelo según COREMUN

- *Factor De Importancia/Seguridad (Para Espectros Sísmicos)*

Tanto el factor de importancia del ASCE 7-22 como el factor de seguridad del COREMUN, cumplen con la misma función, que sirven como factores que afectan directamente los espectros de diseño, en base a la importancia de la estructura.

STANDARD ASCE 7-22	
Factores de importancia por categoría de riesgo de edificios y otras estructuras para cargas sísmicas.	
Categoría de riesgo	Factor de importancia Sísmica, I _e
I	1
II	1
III	1.25
IV	1.5

Tabla 2.4.5. Factores de importancia por categoría de riesgo de edificios y otras estructuras para cargas sísmicas.

COREMUN	
Factor de seguridad dependiendo del uso de la estructura (para cargas sísmicas)	
Grupo de la estructura	Factor de seguridad
C	1
B	1
A	1.5

Tabla 2.4.6. Factores de seguridad del COREMUN

- *Espectros de Diseño*

Una de las diferencias más notables entre estas normativas, es el uso del espectro de diseño, en versiones anteriores del ASCE 7 era utilizado un espectro de diseño de dos periodos, un espectro muy parecido al utilizado por el COREMUN, sin embargo, en la nueva versión ASCE 7-22 se empieza a utilizar un espectro de diseño MULTIPERIODO, aunque, el estándar ASCE 7-22 menciona que el espectro de dos periodos aun es válido para diseñar.

La figura 2.4.1 muestra un ejemplo de espectro de diseño de dos periodos, la figura 2.4.2 muestra un ejemplo de un espectro de diseño multiperiodo, y la figura 2.4.3 muestra el espectro de diseño del COREMUN, que es muy parecido al primer espectro. Los 3 espectros cumplen con el mismo propósito, y la diferencia más notable entre los 3, es que el espectro de diseño multiperiodo, deja de ser un gráfico de 3 ramas (una rama ascendente, meseta, y una rama descendente) y ahora es una curva con un pico con un valor máximo en un periodo específico. Se prevé que en un futuro las normativas nacionales se adaptaran para abrir paso a los espectros de diseño multiperiodos.

Two-Period Design Spectrum

GRAPH

TABLE

CSV

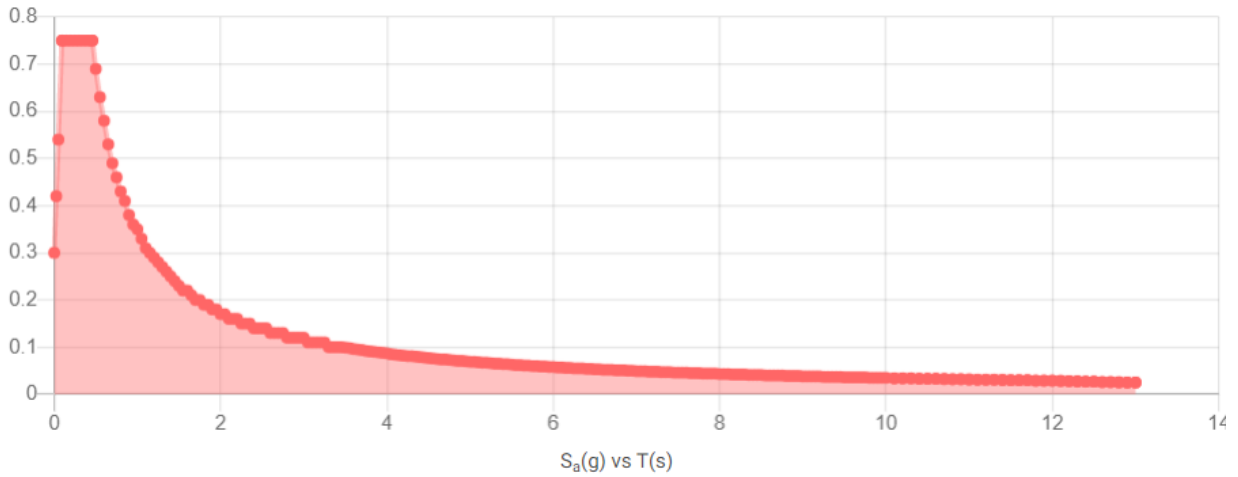


Figura 2.4.1. Ejemplo de Espectro de diseño de dos periodos (o de dos ramas)
Fuente: ASCE 7 HAZARD TOOL (<https://asce7hazardtool.online/>)

Multi-Period Design Spectrum

GRAPH

TABLE

CSV

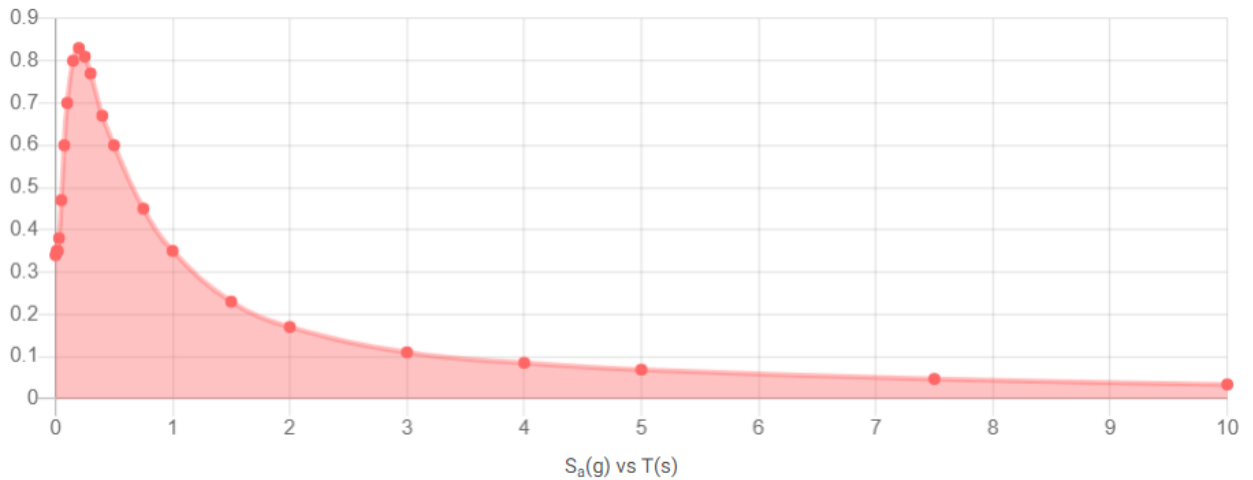


Figura 2.4.2. Ejemplo de Espectro de diseño Multiperiodo
Fuente: ASCE 7 HAZARD TOOL (<https://asce7hazardtool.online/>)

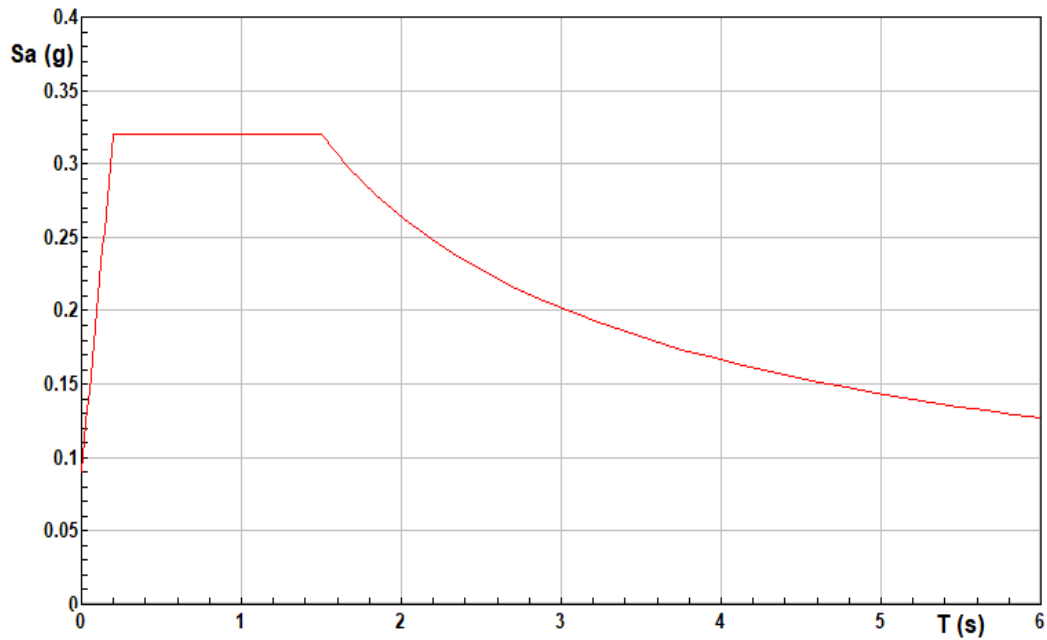


Figura 2.4.3. Espectro de diseño del municipio de Puebla, para estructuras del grupo B y tipo de suelo II
Fuente: Software de computadora ECOgcW3

- *Condiciones De Regularidad.*

Las condiciones de regularidad en el sistema ASCE 7, se subdivide en irregularidades horizontales y verticales, para las condiciones de irregularidad horizontal, hace énfasis principalmente en irregularidad Torsional.

Las condiciones de regularidad del COREMUN, a diferencia de las del ASCE 7-22, se basa principalmente en la geometría general de la estructura, no importando si hay irregularidades horizontales o verticales, si no que más bien irregularidad en general.

IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL HORIZONTAL	
Descripción	
1	<p>Irregularidad Torsional</p> <p>La irregularidad torsional, existe donde:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Más del 75% de la resistencia lateral de cualquier nivel por debajo del diafragma se proporciona en o a un lado del centro de masa *El Radio de irregularidad torsional (TIR) excede 1.2 <p>La fuerza lateral del nivel es la fuerza total de todos los elementos de resistencia sísmica que comparten la cizalladura del nivel para la dirección en consideración.</p>
2	<p>*Irregularidad de esquina reentrante: definida para existir donde ambas proyecciones de planta de la estructura más allá de una esquina reentrante son mayores que 20% de la dimensión de planta de la estructura en la dirección dada.</p>
3	<p>Irregularidad de la discontinuidad del diafragma: definida para existir donde hay un diafragma con una discontinuidad abrupta o una variación en la rigidez, incluyendo uno que tiene un corte o área abierta mayor que 25% del área cerrada gruesa del diafragma, o un cambio en la rigidez efectiva del diafragma de más del 50% de un piso a otro.</p>
4	<p>Irregularidad de desplazamiento fuera del plano: definida para existir cuando hay una discontinuidad en una trayectoria de resistencia a la fuerza lateral, como un desplazamiento fuera del plano de al menos uno de los elementos verticales.</p>
5	<p>Irregularidad del sistema no paralelo: definida para existir donde los elementos verticales de resistencia a la fuerza lateral no son paralelos a los principales ejes ortogonales del sistema de resistencia a la fuerza sísmica.</p>

Tabla 2.4.7 Irregularidades estructurales horizontales, tomada del ASCE 7-22 tabla 12.3-1 traducida al español

IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL VERTICAL	
Descripción	
1.a	La irregularidad se define como la existencia de una historia en la que la rigidez lateral es inferior al 70% de la de la historia anterior o, cuando hay al menos tres pisos por encima, menos del 80% de la rigidez media de los tres pisos anteriores.
1.b	La irregularidad se define como la existencia de un nivel en la que la rigidez lateral es inferior al 60% de la de la historia anterior o, cuando hay al menos tres pisos por encima, menos del 70% de la rigidez media de los tres pisos anteriores.
2	La irregularidad geométrica vertical se define para existir donde la dimensión horizontal del sistema de resistencia a la fuerza sísmica en cualquier nivel es más del 130% de la que en un nivel adyacente.
3	Discontinuidad en el plano en el elemento de resistencia a la fuerza lateral vertical: La irregularidad se define como existente cuando hay un desplazamiento en el plano de un elemento de resistencia a la fuerza sísmica vertical que resulta en demandas de vuelco en los elementos estructurales de apoyo.
4.a	Discontinuidad en Fuerza lateral-Nivel débil: La irregularidad se define como existente donde la fuerza lateral del Nivel es menor que la del nivel anterior. La resistencia lateral de la historia es la resistencia lateral total de todos los elementos del sistema de resistencia a la fuerza sísmica que resisten la cizalladura de la historia para la dirección en consideración.
4.b	Discontinuidad en Fuerza lateral-Nivel Extremadamente Débil: La irregularidad se define como existente cuando la fuerza lateral del nivel es inferior al 65% de la del nivel anterior. La resistencia lateral del nivel es la resistencia lateral total de todos los elementos del sistema de resistencia a la fuerza sísmica que resisten la cizalladura del nivel para la dirección en consideración.

Tabla 2.4.8 Irregularidades estructurales verticales, tomada del ASCE 7-22 tabla 12.3-2 traducida al español

CONDICIONES DE REGULARIDAD	
a	Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes.
b	La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.
c	La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.
d	En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera de la entrante o saliente.
e	En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.
f	No tiene aberturas en los sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera de la abertura, las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.
g	El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.
h	Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de ésta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la menor de los pisos inferiores.
i	Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones ortogonales por diafragmas horizontales y por trabes o losas planas.
j	La rigidez al corte de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la del entrepiso inmediatamente inferior.
k	En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente, es , excede del 10 por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada
Estructura irregular: Toda estructura que no satisfaga uno o más de los requisitos anteriores será considerada irregular	

Tabla 2.4.9 Condiciones de regularidad de las normas técnicas complementarias para sismo de Puebla

Los apartados anteriores son algunas de las muchas similitudes/diferencias, que guardan el standard ASCE 7-22 y el COREMUN, y se estima que en un futuro el COREMUN adopte estas principales diferencias.

CAPITULO 3. ANALISIS DE CARGAS DE VIENTO DE ACUERDO AL “STANDARD ASCE 7-22”

Este capítulo tiene como objetivo ser una guía práctica para que cualquier usuario, con conocimientos básicos en ingeniería civil, pueda realizar un análisis de cargas de viento que actúen sobre una nave industrial a través de la normativa de Estados Unidos, el STANDARD ASCE 7-22.

Los capítulos 26 al 31 del Standard ASCE 7-22, ya fungen como una guía de análisis para cargas de viento, sin embargo, como es usual en la mayoría de normativas, abarca un volumen muy amplio de datos, y debido a tanto contenido de información esta normativa obliga al lector a hacer varios saltos entre apartados, haciéndolo difícil, ambiguo y hasta tedioso de digerir para el usuario, por este motivo, este tercer capítulo busca ser una guía directa, practica, y fácil de comprender para el análisis de cargas de viento de acuerdo a la normativa ASCE 7-22.

Como se mencionó en el párrafo anterior, todo lo concerniente a análisis de cargas de viento de acuerdo al ASCE 7-22 inicia con el capítulo 26, sin embargo, antes de iniciar con el desarrollo de este tipo de análisis, es importante señalar que al inicio de este capítulo se menciona que hay dos clases de sistemas que son afectados por cargas de viento, en torno a estos dos sistemas, es que se desarrolla todo el tema relacionado a viento, estos sistemas son:

- 1.- Sistemas principales de resistencias de fuerzas de viento (por sus siglas en inglés MWFRS): Conjunto de elementos estructurales diseñados para proporcionar soporte y estabilidad de un edificio en general u otra estructura. El sistema generalmente recibe carga de viento de más de una superficie. En esta clasificación entran prácticamente todas las edificaciones.
- 2.- Componentes y revestimientos (C&C por sus siglas en inglés): Accesorios de las estructuras, así como equipos de azotea que no califican como sistemas principales de resistencias de viento.

El objetivo de este trabajo es analizar las acciones de sismo y viento que afectan a una nave industrial, y este tipo de estructuras es clasificada como un **sistema principal de resistencia de viento** (como la mayoría de las edificaciones), por lo que el desarrollo de este tercer capítulo se centrara en este tipo de sistemas estructurales.

Cabe mencionar que el standard ASCE 7-22, en las secciones 26.2 y 26.3, encontramos definiciones y simbología que son de gran ayuda para el entendimiento del análisis a realizar, ya que en base a estas definiciones se basan las ecuaciones y conceptos empleados a lo largo de todo el análisis. Si algún concepto y/o símbolo utilizado en este tercer capítulo no es definido, puede encontrarse en las secciones antes mencionadas del standard.

En este tercer capítulo (al igual que en el capítulo II), se traducen, resumen y explican los conceptos y procedimientos más relevantes o que sean de interés para el análisis de cargas de viento que actúen sobre una nave industrial, ya que gran parte de la información contenida en este standard es sobre situaciones particulares o poco convencionales y es información que puede ser omitida. El orden en que se irán presentando los subtemas será muy similares ha como los presenta el ASCE 7-22, esto para facilitar su consulta, sin embargo, se dará prioridad al orden por aplicación de los pasos de análisis

3.1 Requerimientos Generales (Capitulo 26 del standard ASCE 7-22).

Los requerimientos generales se encuentran en el capítulo 26, en este capítulo se describen los requisitos y métodos a utilizar para determinar las cargas de viento que afectan a una estructura. Estos requerimientos generales son:

1.- Selección De Clase De Sistema Estructural: Como se mencionó anteriormente, en cuanto a análisis de viento, existe dos clases de sistemas estructurales que son diseñados para resistir cargas de viento, los sistemas principales de resistencias de fuerzas de viento (que son prácticamente todas las edificaciones) y todos los componentes y revestimientos de las edificaciones.

2.- Categoría De Riesgo De La Estructura: Es indispensable categorizar a la estructura en base a su riesgo, que, como se mencionó en el segundo capítulo de este trabajo, el standard ASCE 7-22 categoriza a las estructuras por su uso u ocupación en función del riesgo que representan para la vida y el bienestar humano en caso de que falle la estructura. Esta categorización de riesgo la encontramos en la tabla 1.5-1, en la sección 1.5 “Clasificación de edificios y otras estructuras” del ASCE 7-22. La categorización de la estructura es importante, ya que en base a esta es que se consideran ciertos factores que afectaran directamente las cargas de viento que actúen en nuestro sistema estructural.

Table 1.5-1. Risk Category of Buildings and Other Structures for Flood, Wind, Tornado, Snow, Earthquake, and Ice Loads.

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

*Buildings and other structures containing toxic, highly toxic, or explosive substances shall be eligible for classification to a lower risk category if it can be demonstrated to the satisfaction of the Authority Having Jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.3 that a release of the substances is commensurate with the risk associated with that risk category.

Tabla 1.5-1 Categoría de riesgo de edificios y otras estructuras para inundaciones, viento, tornado, nieve, sismos, y cargas de hielo

3.- Parámetros Básicos Para Determinar Cargas De Viento: La presión del viento que actúa en las superficies de un sistema estructural está determinada y afectada por varios factores, como pueden ser la elevación sobre el nivel del mar, geometría de la estructura, topografía, ubicación, etc. Específicamente estos parámetros son:

- * Velocidad básica del viento (Sección 26.5).
- * Factor direccional del viento (Sección 26.6).
- * Categoría de exposición de la estructura (Sección 26.7).
- * Factor topográfico (Sección 26.8).
- * Elevación del terreno respecto al nivel del mar (Sección 26.9).

- * Presión de velocidad (Sección 26.10).
- * Factor de efecto de ráfaga (Sección 26.11).
- * Clasificación de encierro de la estructura (26.12).
- * Coeficiente de presión interna (Sección 26.13).

Para el cálculo de estos parámetros, es necesario antes ya haber definido los dos primeros requerimientos, selección del tipo de sistema estructural y la categoría de riesgo de la estructura, ya que algunos de estos parámetros, requieren de estos datos para poder ser definidos.

3.1.1 Velocidad Básica Del Viento “V” (Sección 26.5 del standard ASCE 7-22).

La velocidad básica del viento está definida como la velocidad de una ráfaga de viento de tres segundos a una altura de 33 pies (10 m) del suelo con exposición del terreno de clase C. (La clase de exposición del terreno se explica en el apartado III.1.3 de este trabajo)

La velocidad básica del viento es determinada a través de mapas de peligro de viento de los Estados Unidos de América, existen 4 mapas de peligro de viento (cada mapa está dividido en dos partes debido a limitaciones de espacio del manual), dependiendo de la categoría de riesgo de la estructura es el mapa que utilizar. Los mapas son proporcionados en el manual ASCE 7-22 en la sección 26.5. La figura 3.1.1 y 3.1.2 son un ejemplo de mapas de peligro de viento encontrado en la sección 26.5 del ASCE 7-22, los mapas mostrados pertenecen a las velocidades básicas del viento para estructuras con categoría de riesgo II.

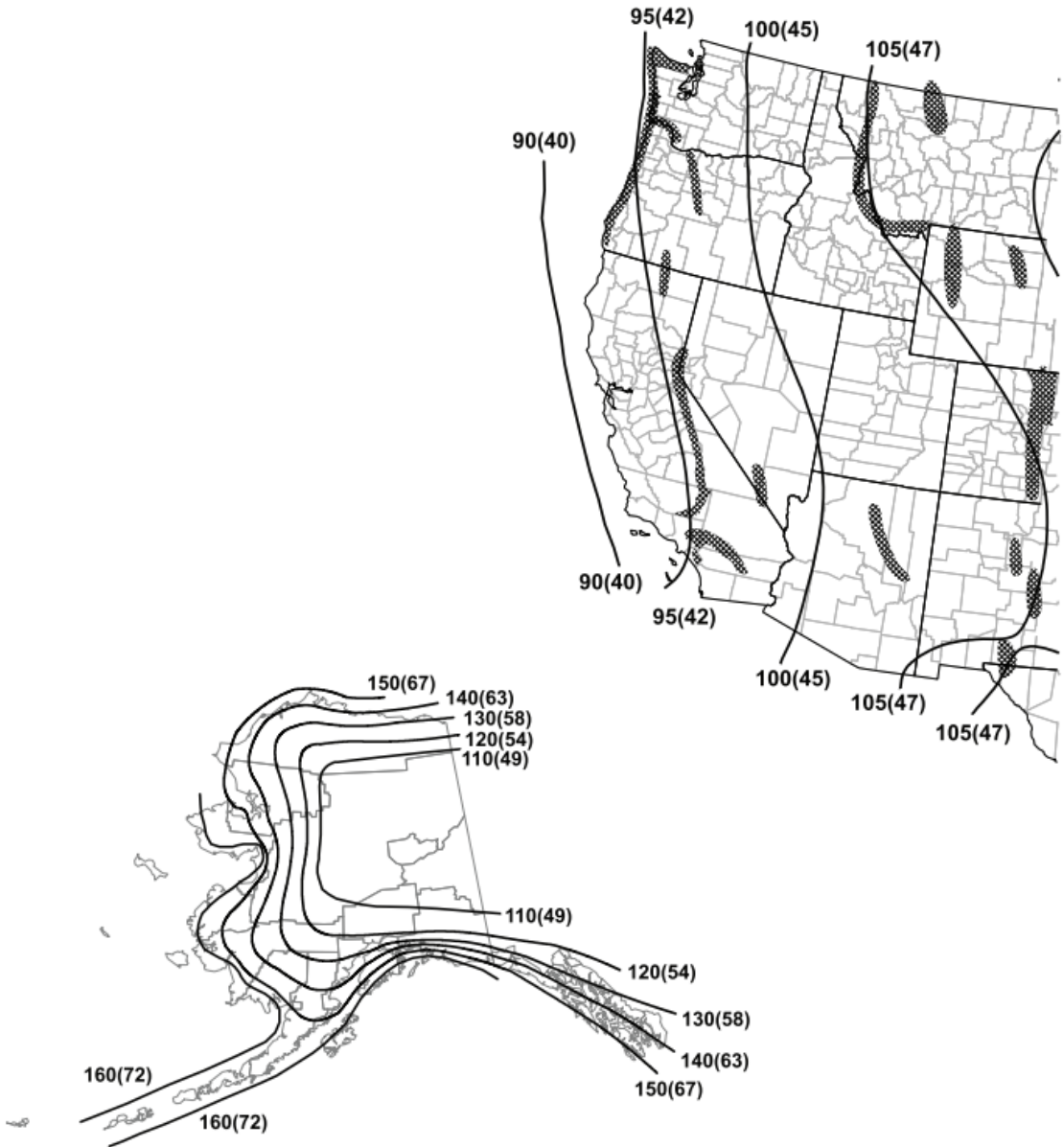


Figura 3.1.1 Mapa de peligro de viento, velocidad básica del viento para estructuras con categoría de riesgo II - Standard ASCE 7-22, Sección 26.5

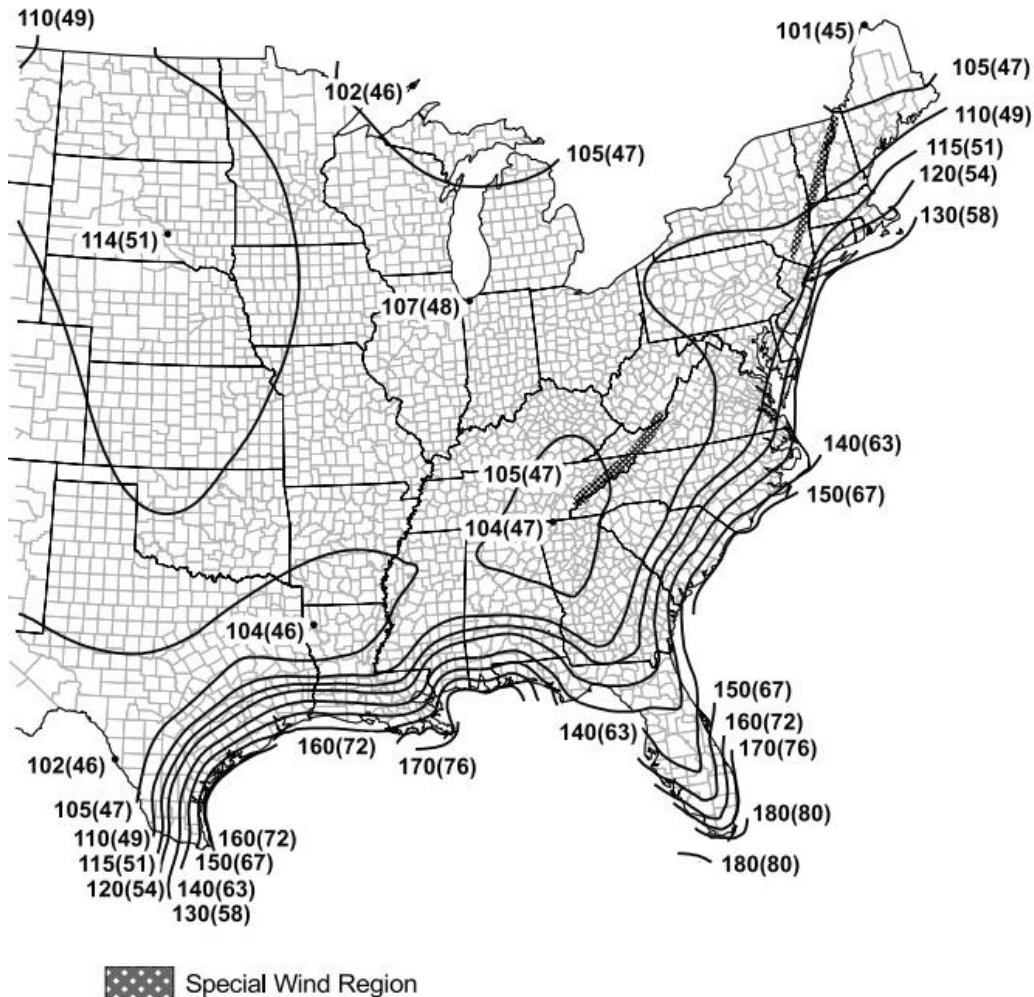


Figura 3.1.2 Continuación de mapa de peligro de viento, velocidad básica del viento para estructuras con categoría de riesgo II - Standard ASCE 7-22, Sección 26.5

Todos los mapas de peligro de viento están divididos por curvas de velocidad, y para determinar la velocidad básica de viento en cualquier punto del mapa, es a través de una interpolación directa entre los límites marcados por las curvas. Las velocidades mostradas están en millas por hora, y entre paréntesis en kilómetros por hora.

De forma alternativa, para la obtención de la velocidad básica del viento, se puede utilizar la base de datos del ASCE (ASCE 7 HAZARD TOOL), en esta base de datos se encuentran digitalizados todos los mapas de peligro de viento de una forma más didáctica y práctica. Para acceder a la base de datos ASCE 7 HAZARD TOOL es a través de su página en internet: <https://asce7hazardtool.online/>.

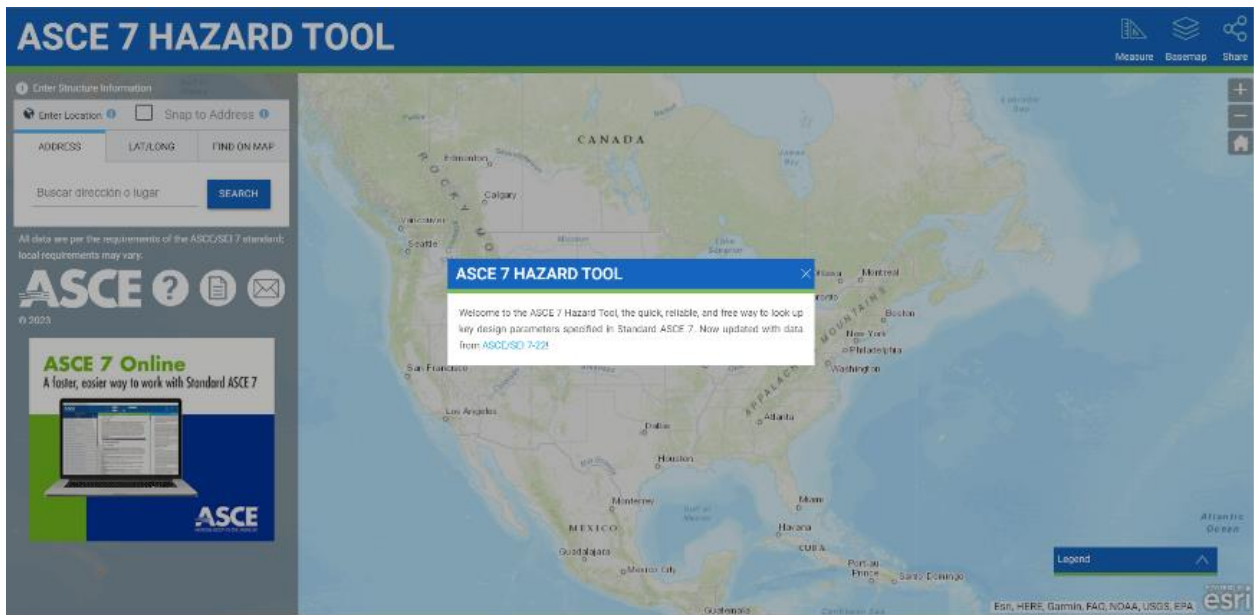


Figura 3.1.3 Interfaz principal de la herramienta de peligro del ASCE, ASCE 7 HAZARD TOOL ("https://asce7hazardtool.online/")

En el apartado 1.6 de este trabajo, se describen los pasos a seguir para el manejo de la herramienta de peligro del ASCE 7-22 (ASCE 7 HAZARD TOOL), así como la interpretación de resultados. La figura 3.1.4 Es un ejemplo de un mapa de peligro de viento digitalizado, proporcionado por la base de datos ASCE 7 HAZARD TOOL.



Figura 3.1.4 Ejemplo de mapa de peligro de viento digitalizado, velocidad básica del viento para estructuras con categoría de riesgo II ("https://asce7hazardtool.online/")

El mapa de la figura 3.1.4 es la digitalización de los mapas de las figuras 3.1.1 y 3.1.2, como se puede observar son exactamente los mismos mapas de velocidades básicas del viento, con la excepción de que el mapa digitalizado muestra las zonas afectadas por huracanes. Con ambos mapas se pueden obtener las velocidades básicas de viento, sin embargo, utilizar el método de interpolación con los mapas del manual, resulta ser impráctico y con resultados menos precisos que si utilizáramos los mapas digitalizados de la base de datos.

Es importante resaltar que existen zonas especiales de viento, en los mapas de ejemplos de las figuras 3.1.1, 3.1.2 y 3.1.4 están representadas con un sombreado de color gris, estas zonas están sometidas a condiciones de viento inusuales, por lo que en estas zonas es necesario contar con una autoridad competente que, de considerarlo necesario, ajuste los valores obtenidos.

Comentario: De este apartado se recomienda que la obtención de la velocidad básica del viento se realice por medio de la base de datos del ASCE 7-22, ASCE 7 HAZARD TOOL (<https://asce7hazardtool.online/>), ya que demuestra ser un método más rápido, práctico y preciso, la única desventaja que tiene este método es que es necesario tener acceso a internet.

3.1.2 Factor de dirección del viento “Kd” (Sección 26.6 del standard ASCE 7-22).

El factor de dirección de viento (K_d) es determinado a través de la tabla 26.6-1, y depende únicamente del tipo de estructura.

Table 26.6-1. Wind Directionality Factor, K_d .

Structure Type	Directionality Factor K_d
Buildings	
Main wind force resisting system	0.85
Components and cladding	0.85
Arched roofs	0.85
Circular domes	1.0*
Chimneys, tanks, and similar structures	
Square	0.90
Hexagonal	0.95
Octagonal	1.0*
Round	1.0*
Solid freestanding walls, roof top equipment, and solid freestanding and attached signs	0.85
Open signs and single-plane open frames	0.85
Trussed towers	
Triangular, square, or rectangular	0.85
All other cross sections	0.95

*Directionality factor $K_d=0.95$ shall be permitted for round or octagonal structures with nonaxisymmetric structural systems.

Tabla 26.6-1 Factor Direccional Del Viento

3.1.3 Categoría De Exposición (Sección 26.7 del standard ASCE 7-22).

Este punto se refiere a las condiciones geográficas y topográficas a la que se encuentra expuesta la estructura, antes de definir la categoría de exposición es necesario definir la **categoría de rugosidad de superficie del suelo** (sección 26.7.2 del ASCE 7-22), que se determina a partir de topografía natural, vegetación e instalaciones construidas a los alrededores. Este concepto puede ser algo ambiguo, por lo que se incluyen algunos ejemplos con fotografías.

- **Rugosidad de superficie categoría B:** Áreas urbanas y suburbanas, áreas arboladas u otros terrenos con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas que tengan el tamaño de viviendas unifamiliares o más grandes.



Figura 3.1.5- Ejemplo de rugosidad de superficie de categoría "B". Estructuras en zonas urbanas y suburbanas

- **Rugosidad de superficie categoría C:** Terreno abierto con obstrucciones dispersas que tienen alturas generalmente menores a 30 pies (9,1 m).



Figura 3.1.6- Ejemplo de rugosidad de superficie de categoría "C". Nave industrial con obstrucciones dispersas

- Rugosidad de superficie categoría D: Áreas planas, sin obstrucciones y puede haber superficies de agua cerca.



Figura 3.1.7- Ejemplo de rugosidad de superficie de categoría "D". Nave industrial en áreas planas y sin obstrucciones



Figura 3.1.8- Ejemplo de rugosidad de superficie de categoría "D". Nave industrial cerca de superficies de agua

Una vez determinada la categoría de rugosidad de superficie se puede establecer la categoría de exposición de la estructura, el standard ASCE 7-22, categoriza 3 tipos de exposición (B, C y D).

- **Categoría de exposición B:** Para estructuras con alturas medias menores a los 30 pies (9.10 m), y este expuesta a una rugosidad de superficie de categoría B a una distancia de 1500 pies (457 m) en dirección en contra del viento, es considerada con categoría de

exposición B, y para estructuras que sobrepase la altura media de 30 pies (9.10 m), podrá considerarse exposición B, cuando la superficie de rugosidad sea de categoría B y este a una distancia superior de 2600 pies (792 m) en dirección en contra del viento.

- **Categoría de exposición D:** Se considera categoría de exposición D cuando la estructura se encuentra en una zona donde la rugosidad de superficie predominante es de categoría D en una distancia de 5000 pies (1524 m) en dirección en contra del viento.
- **Categoría de exposición C:** Para todos los casos donde la categoría de exposición no sea B o D, se aplica una categoría de exposición clase C.

Es importante mencionar que, la categoría de exposición (así como la de superficie de rugosidad) se debe de definir en cada dirección que se consideren cargas de viento, ya que esta puede variar por obstrucciones que se tengan (o no tengan) a los alrededores. La figura 3.8 es un ejemplo de este caso, de un lado de la estructura se pueden observar obstrucciones y del otro lado una superficie plana sin obstrucciones, por lo que en un sentido tiene una categoría de exposición y del otro otra categoría.



Figura 3.1.9- Ejemplo de estructura con diferentes categorías de exposición

Comentario: Por algún motivo, no explicado en el ASCE 7-22, No hay rugosidad de superficie de categoría A, así tampoco categoría de exposición A.

3.1.4 Efectos topográficos -Factor topográfico “Kzt” (Sección 26.8 del standard ASCE 7-22).

Este apartado se refiere a la aceleración del viento cuando la estructura se encuentra sobre colinas, crestas y escarpas o acantilados, el estudio de estas condiciones topográficas no son incluidas en este trabajo, debido a que son situaciones particulares y poco convencionales, por lo que salen de los alcances de este proyecto, pero si se desea abordar en el tema, se puede consultar la sección 26.8.1 del standard ASCE 7-22 para más información.

Cuando la estructura no se encuentra en condiciones topográficas particulares como en acantilados, colinas, o crestas etc. el factor topográfico (K_{zt}) puede ser tomado como 1. ($K_{zt} = 1.0$)

3.1.5 Factor de elevación del terreno “Ke” (Sección 26.9 del standard ASCE 7-22).

Es el factor que ajusta la densidad del aire, y depende de la elevación del terreno sobre el nivel del mar, este factor se determina a través de la tabla 26.9-1, por medio de una interpolación, o utilizando la ecuación descrita en dicha tabla en el apartado de notas, sin embargo, es aceptable usar un valor de 1 en cualquier caso. ($K_e = 1.0$)

Table 26.9-1. Ground Elevation Factor, K_e .

Ground Elevation above Sea Level		Ground Elevation Factor, K_e
ft	m	
<0	<0	See note 2
0	0	1.00
1,000	305	0.96
2,000	610	0.93
3,000	914	0.90
4,000	1,219	0.86
5,000	1,524	0.83
6,000	1,829	0.80
>6,000	>1,829	See note 2

Notes:

1. Conservative approximation $K_e = 1.00$ is permitted in all cases.
2. Factor K_e shall be determined from Table 26.9-1 using interpolation or from the following formula for all elevations: $K_e = e^{-0.000362z_e}$ (z_e = ground elevation above sea level, ft); or $K_e = e^{-0.000119z_e}$ (z_e = ground elevation above sea level, m).
3. K_e is permitted to be taken as 1.00 in all cases.

Tabla 26.9-1 Factor De Elevación Del Terreno

3.1.6 Coeficiente de exposición a la presión de velocidad “Kh” ó “Kz” (Sección 26.10.1 del standard ASCE 7-22).

Este coeficiente es determinado por la tabla 26.10-1, y se basa en la categoría de exposición de la estructura y en su altura. Para valores intermedios no mostrados en la tabla 26.10-1, son obtenidos por interpolación o por medio de las ecuaciones mostradas en el apartado de notas de dicha tabla. Cuando se opte por obtener este coeficiente por medio de las ecuaciones descritas en la tabla 26.10-1, se utilizan los coeficientes de la tabla 26.11-1 constantes de exposición del terreno.

Table 26.10-1. Velocity Pressure Exposure Coefficients, K_h and K_z .

Height above Ground Level, z or h		Exposure		
ft	m	B	C	D
0–15	0–4.6	0.57 (0.70)*	0.85	1.03
20	6.1	0.62 (0.70)*	0.90	1.08
25	7.6	0.66 (0.70)*	0.94	1.12
30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.74	1.04	1.22
50	15.2	0.79	1.09	1.27
60	18.3	0.83	1.13	1.31
70	21.3	0.86	1.17	1.34
80	24.4	0.90	1.21	1.38
90	27.4	0.92	1.24	1.40
100	30.5	0.95	1.26	1.43
120	36.6	1.00	1.31	1.48
140	42.7	1.04	1.34	1.52
160	48.8	1.08	1.39	1.55
180	54.9	1.11	1.41	1.58
200	61.0	1.14	1.44	1.61
250	76.2	1.21	1.51	1.68
300	91.4	1.27	1.57	1.73
350	106.7	1.33	1.62	1.78
400	121.9	1.38	1.66	1.82
450	137.2	1.42	1.70	1.86
500	152.4	1.46	1.74	1.89

* Use 0.70 in Chapter 28, Exposure B, when $z < 30$ ft (9.1 m).

Notes:

1. Velocity pressure exposure coefficient K_z may be determined from the following formula:

For $z < 15$ ft	$K_z = 2.41 (15/z_g)^{2/\alpha}$
For $z < 4.6$ m	$K_z = 2.41 (4.6/z_g)^{2/\alpha}$
For 15 ft (4.6 m) $\leq z \leq z_g$	$K_z = 2.41 (z/z_g)^{2/\alpha}$
For $z_g < z \leq 3,280$ ft (1,000 m)	$K_z = 2.41$

2. α and z_g are tabulated in Table 26.11-1.
3. Linear interpolation for intermediate values of height z is acceptable.
4. Exposure categories are defined in Section 26.7.

Tabla 26.10-1 Coeficiente de exposición a la presión de velocidad

Table 26.11-1. Terrain Exposure Constants.

Customary Units										
Exposure	α	z_g (ft)	$\hat{\alpha}$	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	l (ft)	\bar{z}	z_{min} (ft)*
B	7.5	3,280	1/7.5	0.84	1/4.5	0.47	0.30	320	1/3.0	30
C	9.8	2,460	1/9.8	1.00	1/6.4	0.66	0.20	500	1/5.0	15
D	11.5	1,935	1/11.5	1.09	1/8.0	0.78	0.15	650	1/8.0	7

SI Units										
Exposure	α	z_g (m)	$\hat{\alpha}$	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	l (m)	\bar{z}	z_{min} (m)*
B	7.5	1,000	1/7.5	0.84	1/4.5	0.47	0.30	97.54	1/3.0	9.14
C	9.8	750	1/9.8	1.00	1/6.4	0.66	0.20	152.40	1/5.0	4.57
D	11.5	590	1/11.5	1.09	1/8.0	0.78	0.15	198.12	1/8.0	2.13

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

Tabla 26.11-1 Constantes de exposición del terreno

Comentario: En esta sección se usa la simbología de K_z ó K_h para representar el coeficiente de exposición a la presión del viento, pero no menciona la diferencia entre usar “z” o “h”, esta diferencia se aclara en la sección 26.3 “Simbología”, donde define a “z” como la altura de la estructura con respecto al nivel del suelo, y a “h” como la altura media del techo de la estructura, por tanto, se usa el subíndice “h” cuando la estructura tiene un techo de altura variable.

3.1.7 Presión De Velocidad “qz” o “qh” (Sección 26.10.2 del standard ASCE 7-22).

Una vez determinados los parámetros de carga de viento, se procede al cálculo de la presión de velocidad del viento a una altura “z” o “h”, por medio de la ecuación 26.10-1. Si se está analizando la estructura con unidades del sistema internacional (SI), se debe utilizar la ecuación 26.10-1. SI

$$q_z = 0.00256 K_z K_{zt} K_e V^2 (\text{lb/ft}^2); V, \text{mi/h} \quad (26.10-1)$$

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_e V^2 (\text{N/m}^2); V, \text{m/s} \quad (26.10-1.SI)$$

Donde: K_z = Coeficiente de exposición a la presión de velocidad

K_{zt} = Factor Topográfico

K_e = Factor De Elevación Del Terreno

V = Velocidad Básica Del Viento

q_z = Presión De Velocidad

Comentario: Si la estructura tiene una altura variable debido a un techo con pendiente considerable, se debe usar la altura media “h”.

3.1.8 Efectos De Ráfaga (Sección 26.11 del standard ASCE 7-22).

Para los efectos de rafa es importante determinar si la estructura es rígida o flexible según la definición del ASCE 7-22 (Sección 26.2 definiciones), Si una estructura tiene una frecuencia natural fundamental, n_1 , mayor o igual a 1 Hz (Hertz), la estructura es considerada rígida, en caso contrario se considera flexible.

3.1.8.1 Frecuencia Natural Aproximada (Sección 26.11 del standard ASCE 7-22).

Cuando no se tenga conocimiento de la frecuencia natural fundamental de la estructura, n_1 , es permitido usar la frecuencia natural aproximada, n_a , de la estructura, siempre y cuando cumpla con dos requisitos:

A).- La altura de la estructura es menor o igual a 300 pies (90m).

B).- La altura de la estructura es menor a 4 veces su longitud efectiva “ L_{eff} ”, la longitud efectiva es calculada con la ecuación 26.11-1

$$L_{eff} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i L_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \quad (26.11-1)$$

Las sumas son sobre la altura del edificio, donde “ h_i ” es la altura sobre el nivel del nivel “ i ”, y “ L_i ” es la longitud del edificio en el nivel “ i ” paralela a la dirección del viento. La longitud efectiva debe calcularse para cada dirección en que se consideren cargas de viento.

Una vez determinado que la estructura cumple con los 2 requisitos anteriores, se puede calcular la frecuencia natural aproximada “ n_a ” de la estructura con las ecuaciones 26.11-2, para estructuras de acero momento resistentes, y 26.11-3 para estructuras de concreto momento resistentes. Si se está utilizando unidades del Sistema Internacional (SI) se utilizan las ecuaciones 26.11-2.SI y la ecuación 26.11-3.SI

For concrete moment-resisting frame buildings,

$$n_a = 43.5/h^{0.9} \quad (26.11-3)$$

$$n_a = 14.93/h^{0.9} \quad (26.11-3.SI)$$

For structural steel moment-resisting frame buildings,

$$n_a = 22.2/h^{0.8} \quad (26.11-2)$$

$$n_a = 8.58/h^{0.8} \quad (26.11-2.SI)$$

Como se mencionó anteriormente, si la frecuencia natural fundamental, o en su caso natural aproximada, de la estructura es mayor o igual a 1 Hz (Hertz) la estructura es considerada como rígida, si es menor a 1 Hz se considera estructura flexible.

3.1.8.2 Efectos de ráfaga - Factor de efecto de ráfaga para estructuras rígidas (Sección 26.11.4 del standard ASCE 7-22).

Cuando la estructura es considerada como rígida es permitido tomar un factor de ráfaga igual a 0.85, sin embargo, este también puede ser calculado a través de una serie de ecuaciones.

Comentario: Como se ha mencionado, uno de los objetivos de este trabajo es ser lo más practico posible, por lo que se considera innecesario el cálculo del factor de ráfaga de este apartado por medio de ecuaciones, pero si se desea abordar en el tema y obtener un factor de ráfaga más refinado puede calcularse con las ecuaciones que se presentan en la sección 26.11.4 del ASCE 7-22.

3.1.8.3 Efectos de ráfaga - Factor de efecto de ráfaga para estructuras flexibles (Sección 26.11.5 del standard ASCE 7-22).

Para el cálculo del factor de ráfaga de estructuras flexibles se requiere de varios factores y constantes, algunos que son determinados por la geometría de la estructura, otros ya propuestos por el ASCE 7-22, y otros que son necesarios de calcular por medio de ecuaciones

que se describen en la sección 26.11.5. El factor de ráfaga debe ser calculado para toda dirección que se consideren cargas de viento.

*Factores/Constantes que dependen de la geometría de la estructura:

h = Altura media de la estructura

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

L = Dimensión horizontal de la estructura medida paralela a la dirección del viento

$\bar{z} = 0.6h$ Altura equivalente

*Factores/Constantes proporcionados por el ASCE 7-22 para el cálculo de factor de ráfaga:

$\beta = 2\%$ (0.2) Relación de amortiguamiento, fracción crítica

$g_Q = 3.4$ Factor de pico para la respuesta de fondo

$g_v = 3.4$ Factor de pico para la respuesta de viento

*Las demás constantes dependen de la categoría de exposición de la estructura y se encuentran en la tabla 26.11-1 Constantes de exposición del terreno, dicha tabla ya fue colocada en el apartado III.1.6 de este trabajo, sin embargo, con el motivo de no hacer retroceder al lector en busca de dicha tabla, también es colocada en este apartado.

Table 26.11-1. Terrain Exposure Constants.

Customary Units										
Exposure	α	z_g (ft)	$\hat{\alpha}$	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	l (ft)	\bar{e}	z_{min} (ft)*
B	7.5	3,280	1/7.5	0.84	1/4.5	0.47	0.30	320	1/3.0	30
C	9.8	2,460	1/9.8	1.00	1/6.4	0.66	0.20	500	1/5.0	15
D	11.5	1,935	1/11.5	1.09	1/8.0	0.78	0.15	650	1/8.0	7
SI Units										
Exposure	α	z_g (m)	$\hat{\alpha}$	\hat{b}	$\bar{\alpha}$	\bar{b}	c	l (m)	\bar{e}	z_{min} (m)*
B	7.5	1,000	1/7.5	0.84	1/4.5	0.47	0.30	97.54	1/3.0	9.14
C	9.8	750	1/9.8	1.00	1/6.4	0.66	0.20	152.40	1/5.0	4.57
D	11.5	590	1/11.5	1.09	1/8.0	0.78	0.15	198.12	1/8.0	2.13

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

Tabla 26.11-1 Constantes de exposición del terreno

*Factores/Constantes a calcular por medio de las ecuaciones del ASCE 7-22 sección 26.11.5, para el cálculo de factor de ráfaga, las ecuaciones se presentan en el orden que se van requiriendo :

- Velocidad horaria de viento promedio

$$\bar{V}_z = \bar{b} \left(\frac{z}{33} \right)^{\bar{\alpha}} \left(\frac{88}{60} \right) V \quad (26.11-16) \quad \bar{V}_z = \bar{b} \left(\frac{z}{10} \right)^{\bar{\alpha}} V \quad (26.11-16.SI)$$

- Factores de correlación en diferentes direcciones (ecuaciones 26.11-15b)

Para estas ecuaciones, como se mencionó en el apartado III.1.8.1, se permite que $n1=na$

$$\eta_h = 4.6n_1h/V_z$$

$$\eta_B = 4.6n_1B/\bar{V}_z$$

$$\eta_L = 15.4n_1L/\bar{V}_z$$

- Factores por efectos de dimensionamiento, relacionados con la altura, anchura y profundidad de la estructura (ecuaciones 26.11-15a)

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

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

$$R_L = \frac{1}{\eta_L} - \frac{1}{2\eta_L^2} (1 - e^{-2\eta_L})$$

- Escala de longitud integral de la turbulencia a la altura equivalente

$$L_z = \ell \left(\frac{z}{33} \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (26.11-9)$$

$$L_z = \ell \left(\frac{z}{10} \right)^{\bar{\epsilon}} \quad (26.11-9.SI)$$

in which ℓ and $\bar{\epsilon}$ are constants listed in Table 26.11-1.

- Frecuencia Natural Reducida

$$N_1 = \frac{n_1 L_z}{\bar{V}_z} \quad (26.11-14)$$

where L_z is defined in Equation (26.11-9).

*Hay que recordar que si se cumplen los requisitos del apartado III.1.8.1, $n1 = na$

- Densidad espectral de potencia de turbulencia a una altura equivalente

$$R_n = \frac{7.47N_1}{(1 + 10.3N_1)^{5/3}} \quad (26.11-13)$$

- Factor de respuesta resonante

$$R = \sqrt{\frac{1}{\beta} R_n R_h R_B (0.53 + 0.47R_L)} \quad (26.11-12)$$

- Factor de pico resonante

$$g_R = \sqrt{2 \ln(3,600n_1)} + \frac{0.577}{\sqrt{2 \ln(3,600n_1)}} \quad (26.11-11)$$

- Intensidad de turbulencia a una altura equivalente

$$I_z = c \left(\frac{33}{z} \right)^{1/6} \quad (26.11-7)$$

$$I_z = c \left(\frac{10}{z} \right)^{1/6} \quad (26.11-7.SI)$$

- Factor de respuesta de fondo

$$Q = \sqrt{\frac{1}{1 + 0.63 \left(\frac{B+h}{I_z} \right)^{0.63}}} \quad (26.11-8)$$

- FACTOR DE EFECTO DE RAFAGA PARA ESTRUCTURAS FLEXIBLES

$$G_f = 0.925 \left(\frac{1 + 1.7 I_z \sqrt{g_Q^2 Q^2 + g_R^2 R^2}}{1 + 1.7 g_v I_z} \right) \quad (26.11-10)$$

3.1.9 Clasificación de encierro (Sección 26.12 del standard ASCE 7-22).

Según el sistema ASCE 7-22, las estructuras tienen otro tipo de clasificación, que depende de la cantidad (área) de aberturas que hay en la estructura.

- Edificio Cerrado: Un edificio que tiene el área total de aberturas en cada pared, que recibe presión externa positiva, menor o igual a 4 pies² (0,37 m²) o el 1% del área de ese muro, el que sea más pequeño. Esta condición se expresa para cada muro.



Figura 3.1.10- Ejemplo de nave industrial clasificada como cerrada

- Edificio Abierto: Un edificio que cada muro tiene una abertura de al menos el 80%. Prácticamente si la estructura cuenta con muros, estos son simplemente son por estética.



Figura 3.1.11- Ejemplo de nave industrial clasificada como abierta

- Edificio Parcialmente Cerrado: Estructura que cumple con las dos condiciones siguientes:
 1. Área total de aberturas en un muro que recibe presión externa positiva, excede la suma de las áreas de las aberturas en el resto de la envolvente del edificio (paredes y techo) por más de 10%.
 2. Área total de aberturas en un muro, que recibe presión positiva externa, que supera los 4 pies² (0,37 m²) o el 1 % del área de esa pared, la que sea menor, y el porcentaje de aberturas en el resto de la envolvente del edificio no superar el 20%.



Figura 3.1.12- Ejemplo de nave industrial clasificada como parcialmente cerrada

- Edificio Parcialmente Abierto: Un edificio que no cumple con los requisitos para espacios abiertos, parcialmente cerrados o edificios cerrados

3.1.10 Coeficiente de presión interna “GC_{pi}” (Sección 26.13 del standard ASCE 7-22).

Los coeficientes de presión interna se determinarán a partir de la Tabla 26.13-1 con base en las clasificaciones de encierro de edificios determinadas en la sección anterior de este trabajo (o la sección 26.12 del ASCE 7-22).

Table 26.13-1. Main Wind Force Resisting System and Components and Cladding (All Heights): Internal Pressure Coefficient, (GC_{pi}), for Enclosed, Partially Enclosed, Partially Open, and Open Buildings (Walls and Roof).

Enclosure Classification	Criteria for Enclosure Classification	Internal Pressure	Internal Pressure Coefficient (GC_{pi})
Enclosed buildings	A_o is less than the smaller of $0.01A_g$ or 4 ft^2 (0.37 m^2), and $A_{oi}/A_{gt} \leq 0.2$	Moderate	+0.18 -0.18
Partially enclosed buildings	$A_o > 1.1A_{oi}$, and $A_o >$ the lesser of $0.01A_g$ or 4 ft^2 (0.37 m^2), and $A_{oi}/A_{gt} \leq 0.2$	High	+0.55 -0.55
Partially open buildings	A building that does not comply with Enclosed, Partially Enclosed, or Open classifications	Moderate	+0.18 -0.18
Open buildings	Each wall is at least 80% open	Negligible	0.00

Notes:

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

Tabla 26.13-1 Coeficientes de presión interna para estructuras consideradas como cerradas, parcialmente cerradas, abiertas, y parcialmente abiertas .

3.2 Métodos para el cálculo de fuerzas de viento

El standard ASCE 7-22 menciona 4 métodos o procedimientos para el análisis de cargas de viento, cada método especifica las características que debe de tener una edificación para poder ser aplicables.

A) Procedimiento Direccional (Capitulo 27 del ASCE 7-22): Este método es aplicable para estructuras de todas las alturas, sin embargo, solo se aplica cuando cumple los criterios para ser clasificada como estructura cerrada, abierta, parcialmente cerrada y/o parcialmente abierta (Esta clasificación es explicada en el apartado III.1.9 de este trabajo).

B) Procedimiento de Envolverte (Capitulo 28 del ASCE 7-22): Este método solo aplica para estructuras de baja altura, estructuras menores o iguales a los 60 ft (18m), y la altura media del techo no exceda la dimensión horizontal más pequeña.

C) Procedimiento Direccional para accesorios estructurales de techos (Capitulo 29 del ASCE 7-22) : Este capítulo se aplica a la determinación de las cargas de viento en los accesorios de las edificaciones (como estructuras de techo y equipo de techo) y otras estructuras de todas las alturas (como paredes independientes sólidas y rótulos sólidos, chimeneas, tanques, contenedores circulares rótulos abiertos, pórticos abiertos de un solo plano, sistemas de paneles solares de inclinación fija montados en el suelo y torres con armadura).

D) Túnel de viento (Capitulo 31 del ASCE 7-22): Este procedimiento es aplicable para absolutamente cualquier estructura, este método usa la dinámica de fluidos a través de un modelo computacional, sin embargo, este modelo computacional debe ser respaldado a través de un modelo físico que cumpla con lo estipulado en el manual ASCE 49. Se considera que este método produce las presiones de carga de viento más precisas.

Como se mencionó anteriormente, para aplicar cada método se necesita cumplir con ciertos requisitos, para el caso de **túnel de viento** es necesario contar con softwares especializados en dinámica de fluidos y un modelo físico, requisitos con los que usualmente no se cuentan, el **procedimiento direccional para accesorios estructurales de techos**, como su nombre lo menciona, aplica principalmente para accesorios y otras edificaciones más particulares, el

procedimiento de envolvente es uno de los métodos que aplica en la mayoría de los casos, sin embargo, esta limitado a condiciones geométricas de las edificaciones (principalmente es aplicable a estructuras de baja altura) , por lo que **el método más viable y utilizado, es el método de procedimiento direccional** , cuyo único requisitos es clasificar a la estructura (clasificarla como cerrada, parcialmente cerrada, abierta o parcialmente abierta) y es el método que se desarrolla a lo largo de este apartado.

3.2.1 Coeficiente de presión externa (Sección 27.3 del standard ASCE 7-22).

Como se mencionó en el apartado anterior, el cálculo de fuerzas de viento se realizará por el método de procedimiento direccional, debido a que es un método que puede aplicar prácticamente a cualquier estructura, incluyendo nuestro objeto de estudio, una nave industrial, esto es importante, ya que dependiendo del método que se haya escogido para el cálculo de fuerzas de viento, depende de cómo se determina el coeficiente de presión externa. Debido a que el procedimiento direccional es el que se usa para determinar cargas de viento el coeficiente de presión externa es determinado a partir de diagramas proporcionadas por el ASCE 7-22. Son 7 diagramas que se encuentran a partir de la sección 27.3, la elección de cada diagrama depende de la geometría del techo de la estructura y de la clasificación de encierro de la estructura.

Diagrama 27.3-1. Coeficientes de presión externa, C_p , para sistemas cerrados, parcialmente cerrados y edificios parcialmente abiertos: paredes y techos

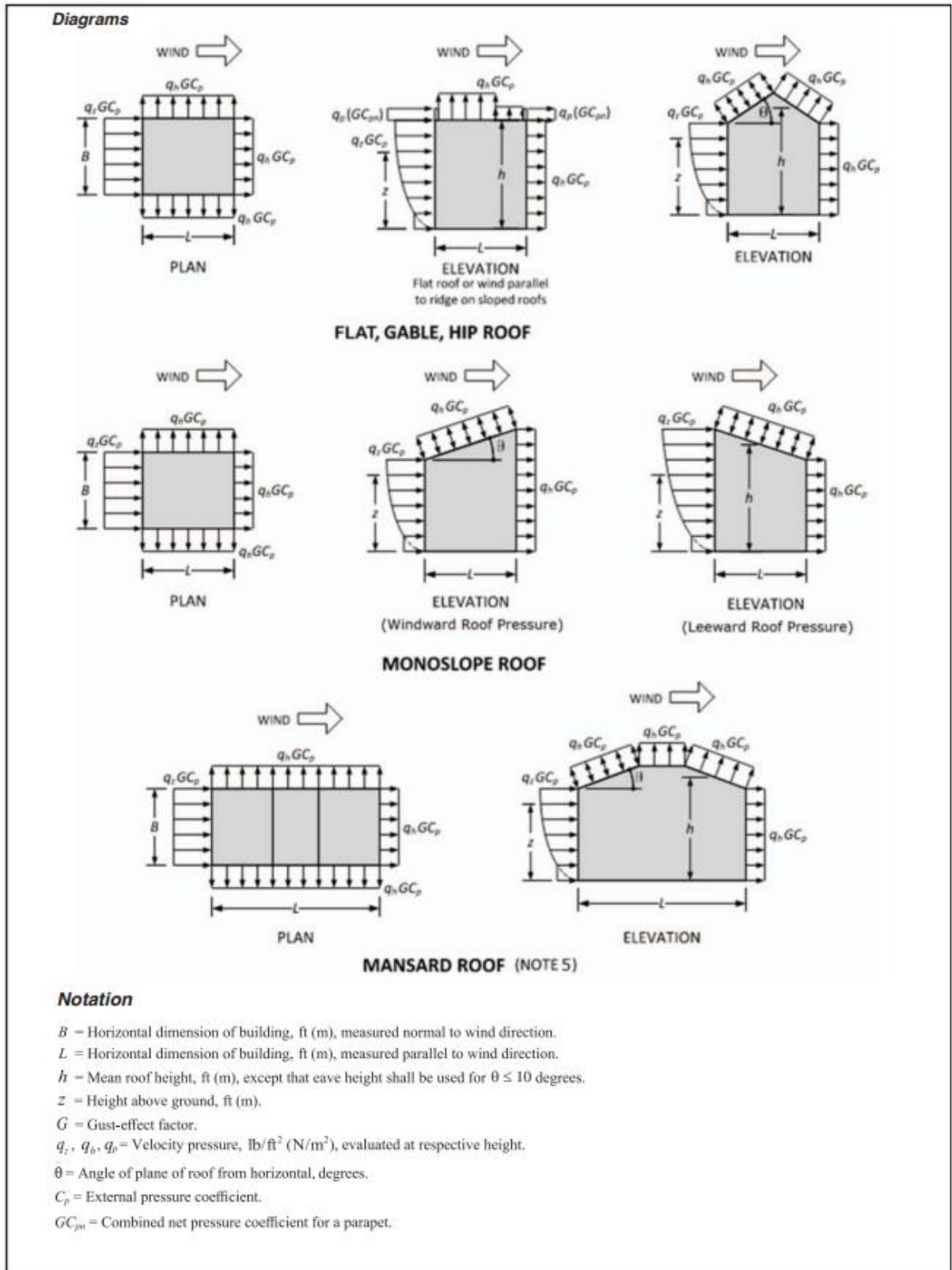


Diagrama 27.3-1. Coeficientes de presión externa, C_p , para sistemas cerrados, parcialmente cerrados y edificios parcialmente abiertos: paredes y techos (Continuación)

Wall Pressure Coefficients, C_p			
Surface	L/B	C_p	Use with
Windward wall	All values	0.8	q_z
Leeward wall	0-1	-0.5	q_h
	2	-0.3	q_h
	≥ 4	-0.2	q_h
Sidewall	All values	-0.7	q_h
Parapet	All values	See Section 27.3.4 for GC_{pn}	q_p

Roof Pressure Coefficients, C_{pr}, for use with q_h															
Wind Direction	h/L	windward									Leeward				
		Angle, θ													
		10°	15°	20°	25°	30°	35°	45°	60°	60° < θ ≤ 80°	> 80°	10°	15°	≥ 20°	
Normal to Ridge for $\theta \geq 10^\circ$	≤ 0.25	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	0.0 ^a								
		-0.18	0.0 ^a	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.01 θ	0.8	-0.3	-0.5	-0.6	
	0.5	-0.9	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	0.0 ^a							
		-0.18	-0.18	0.0 ^a	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.01 θ	0.8	-0.5	-0.5	-0.6	
	≥ 1.0	-1.3 ^b	-1.0	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	0.0 ^a							
		-0.18	-0.18	-0.18	0.0 ^a	0.2	0.2	0.3	0.6	0.01 θ	0.8	-0.7	-0.6	-0.6	

Wind Direction	h/L	Horizontal Distance from Windward Edge	C_p
Normal to Ridge for $\theta < 10^\circ$ and Parallel to Ridge for all θ	≤ 0.5	0 to $h/2$	-0.9, -0.18
		$h/2$ to h	-0.9, -0.18
		h to $2h$	-0.5, -0.18
		> $2h$	-0.3, -0.18
	≥ 1.0	0 to $h/2$	-1.3 ^b , -0.18
		> $h/2$	-0.7, -0.18

^aValue is provided for interpolation purposes.

^bValue can be reduced linearly, with area over which it is applicable as follows:

Area, ft ² (m ²)	Reduction Factor
≤ 100 (9.3)	1.0
250 (23.2)	0.9
≥ 1,000 (92.9)	0.8

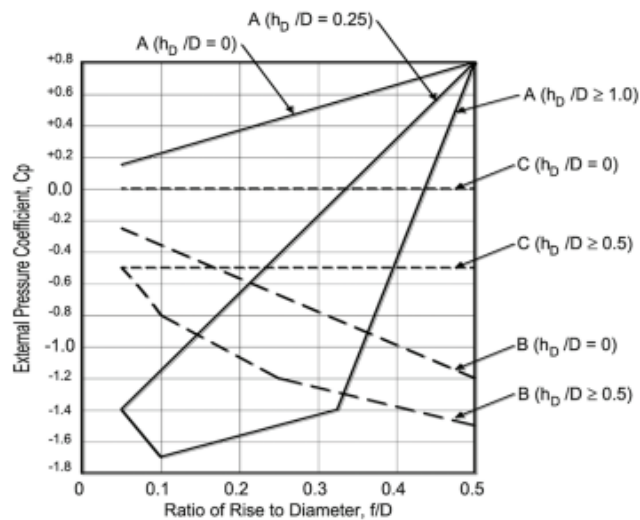
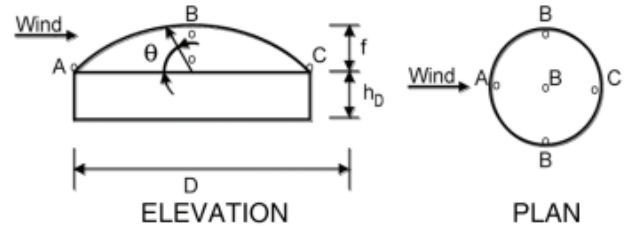
Notes:

- Plus and minus signs signify pressures acting toward and away from the surfaces, respectively.
- Linear interpolation is permitted for values of L/B , h/L , and θ , other than shown. Interpolation shall only be carried out between values of the same sign. Where no value of the same sign is given, assume 0.0 for interpolation purposes.
- Where two values of C_p are listed, this indicates that the windward roof slope is subjected to either positive or negative pressures and the roof structure shall be designed for both conditions. Interpolation for intermediate ratios of h/L shall only be carried out between C_p values of like sign.
- Parapets are shown only on the flat roof elevation but may occur on any roof type shown.
- For mansard roofs, the top horizontal surface and leeward inclined surface shall be treated as leeward surfaces according to the table.
- Except for MWFRSs at the roof consisting of moment-resisting frames, the total horizontal shear shall not be less than that determined by neglecting wind forces on roof surfaces.

Diagrama 27.3-2. Coeficientes de presión externa, C_p , para sistemas cerrados, parcialmente cerrados y edificios y estructuras parcialmente abiertos: techos abovedados con una base circular.

Diagrams

External Pressure Coefficients for Domes with Circular Base



Notation

- f = Dome rise, ft (m)
- h_D = Height to base of dome, ft (m)
- D = Diameter, ft (m)
- θ = Angle of plane of roof from horizontal, degrees

Notes

1. Two load cases shall be considered:
 - Case A: C_p values between A and B and between B and C shall be determined by linear interpolation along arcs on the dome parallel to the wind direction;
 - Case B: C_p shall be the constant value of A for $\theta \leq 25^\circ$ and shall be determined by linear interpolation from 25° to B and from B to C .
2. Values denote C_p to be used with $q(h_{D+f})$, where h_{D+f} is the height at the top of the dome.
3. Plus and minus signs signify pressures acting toward and away from the surfaces, respectively.
4. C_p is constant on the dome surface for arcs of circles perpendicular to the wind direction; for example, the arc passing through $B-B-B$ and all arcs parallel to $B-B-B$
5. For values of h_D/D between those listed on the graph curves, linear interpolation shall be permitted.
6. $\theta = 0$ degrees on dome springline $\theta = 90$ degrees at dome center top point. f is measured from springline to top.
7. The total horizontal shear shall not be less than that determined by neglecting wind forces on roof surfaces.
8. For f/D values less than 0.05, use Figure 27.3-1.

Diagrama 27.3-3. Coeficientes de presión externa, C_p , para sistemas cerrados, parcialmente cerrados y edificios y estructuras parcialmente abiertos - techos arqueados.

External Pressure Coefficient, C_p				
Conditions	Rise-to-Span Ratio, r	C_p		
		Windward Quarter	Center Half	Leeward Quarter
Roof on elevated structure	$0 < r < 0.2$	-0.9	$-0.7 - r$	-0.5
	$0.2 \leq r < 0.3$	$1.5r - 0.3$	$-0.7 - r$	-0.5
		$6r - 2.1$		
Roof springing from ground level	$0.3 \leq r \leq 0.6$	$2.75r - 0.7$	$-0.7 - r$	-0.5
	$0 < r \leq 0.6$	$1.4r$	$-0.7 - r$	-0.5

Notes

1. Values listed are for the determination of average loads on main wind-force resisting systems.
2. Plus and minus signs signify pressures acting toward and away from the surfaces, respectively.
3. For wind directed parallel to the axis of the arched roofs, use pressure coefficients from Figure 27.3-1, with wind directed parallel to ridge.
4. Where two values of C_p are listed, the roof is subjected to either positive or negative pressures and the roof structure shall be designed for both conditions.

Diagrama 27.3-4. Para estructuras donde $0,25 \leq h/L \leq 1,0$: coeficiente de presión neta, C_N , para edificios abiertos con techos libres monos pendientes ($\theta \leq 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$)

Diagrams

Notation

L = Horizontal dimension of roof, measured in the along-wind direction, ft (m).
 h = Mean roof height, ft (m).
 γ = Direction of wind, degrees.
 θ = Angle of plane of roof from horizontal, degrees.

Net Pressure Coefficient, C_N

Roof Angle, θ	Load Case	Wind Direction, $\gamma = 0^\circ$				Wind Direction, $\gamma = 180^\circ$			
		Clear Wind Flow		Obstructed Wind Flow		Clear Wind Flow		Obstructed Wind Flow	
		C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}	C_{NW}	C_{NL}
$< 7.5^\circ$	A	1.2	0.3	-0.5	-1.2	1.2	0.3	-0.5	-1.2
	B	-1.1	-0.1	-1.1	-0.6	-1.1	-0.1	-1.1	-0.6
7.5°	A	-0.6	-1.0	-1.0	-1.5	0.9	1.5	-0.2	-1.2
	B	-1.4	0.0	-1.7	-0.8	1.6	0.3	0.8	-0.3
15°	A	-0.9	-1.3	-1.1	-1.5	1.3	1.6	0.4	-1.1
	B	-1.9	0.0	-2.1	-0.6	1.8	0.6	1.2	-0.3
22.5°	A	-1.5	-1.6	-1.5	-1.7	1.7	1.8	0.5	-1.0
	B	-2.4	-0.3	-2.3	-0.9	2.2	0.7	1.3	0.0
30°	A	-1.8	-1.8	-1.5	-1.8	2.1	2.1	0.6	-1.0
	B	-2.5	-0.5	-2.3	-1.1	2.6	1.0	1.6	0.1
37.5°	A	-1.8	-1.8	-1.5	-1.8	2.1	2.2	0.7	-0.9
	B	-2.4	-0.6	-2.2	-1.1	2.7	1.1	1.9	0.3
45°	A	-1.6	-1.8	-1.3	-1.8	2.2	2.5	0.8	-0.9
	B	-2.3	-0.7	-1.9	-1.2	2.6	1.4	2.1	0.4

Notes

1. C_{NW} and C_{NL} denote net pressures (contributions from top and bottom surfaces) for windward and leeward half of roof surfaces, respectively.
2. Clear wind flow denotes relatively unobstructed wind flow with blockage less than or equal to 50%. Obstructed wind flow denotes objects below roof inhibiting wind flow (>50% blockage).
3. For values of θ between 7.5° and 45° degrees, linear interpolation is permitted.
4. For free roofs with $0.05 \leq h/L < 0.25$ and $\theta < 5^\circ$ degrees, use Figure 27.3-7.
5. Plus and minus signs signify pressures acting toward and away from the top roof surface, respectively.
6. All load cases shown for each roof angle shall be investigated.

Diagrama 27.3-5. Para estructuras donde $0,25 \leq h/L \leq 1,0$: coeficiente de presión neta, C_N , para edificios abiertos con cubiertas libres inclinadas ($\theta \leq 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$).

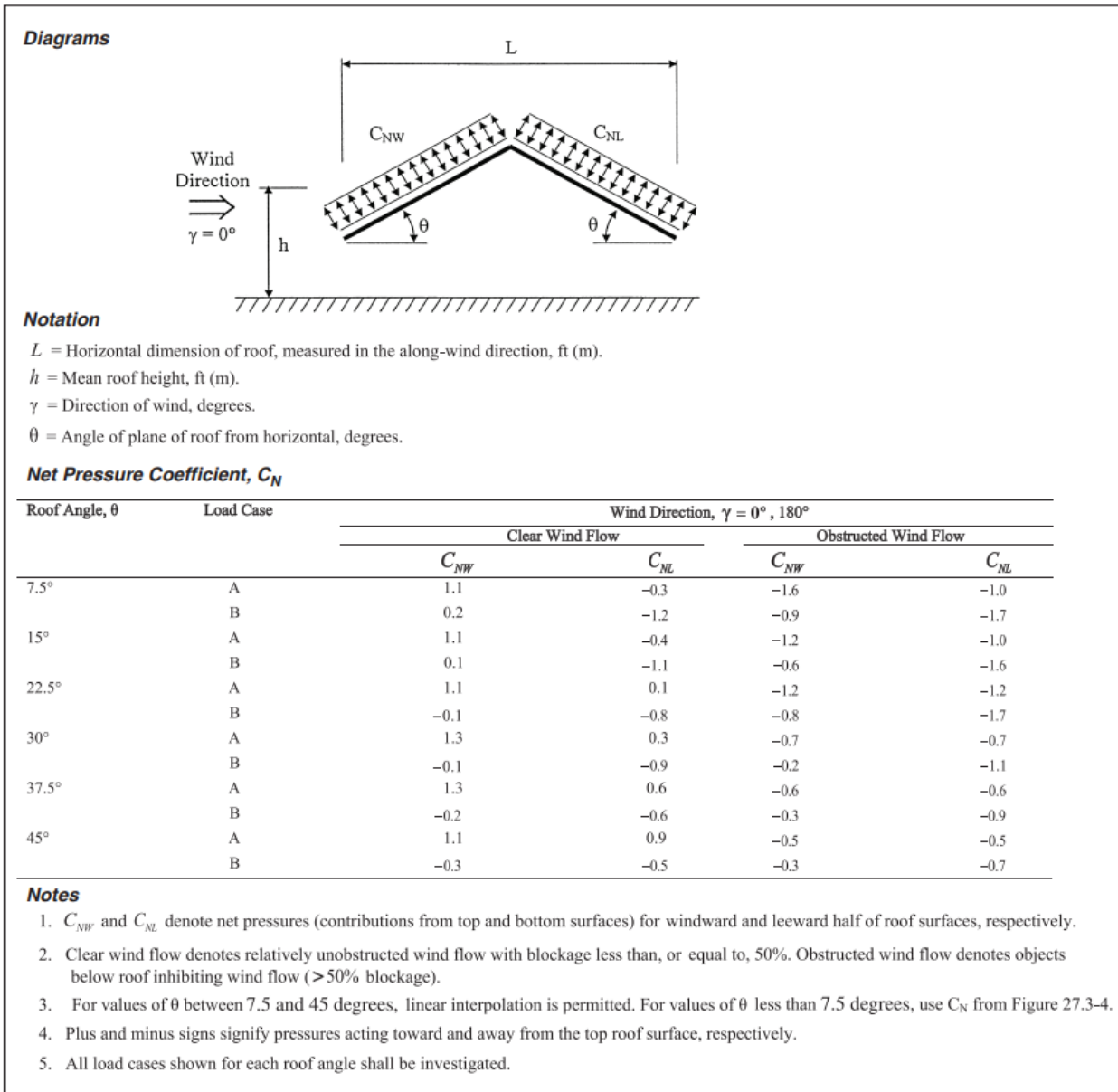


Diagrama 27.3-6. Para estructuras donde $0,25 \leq hL \leq 1,0$: coeficiente de presión neta, C_N , para edificios abiertos con techos libres en artesa ($\theta \leq 45^\circ$, $\gamma = 0^\circ, 180^\circ$).

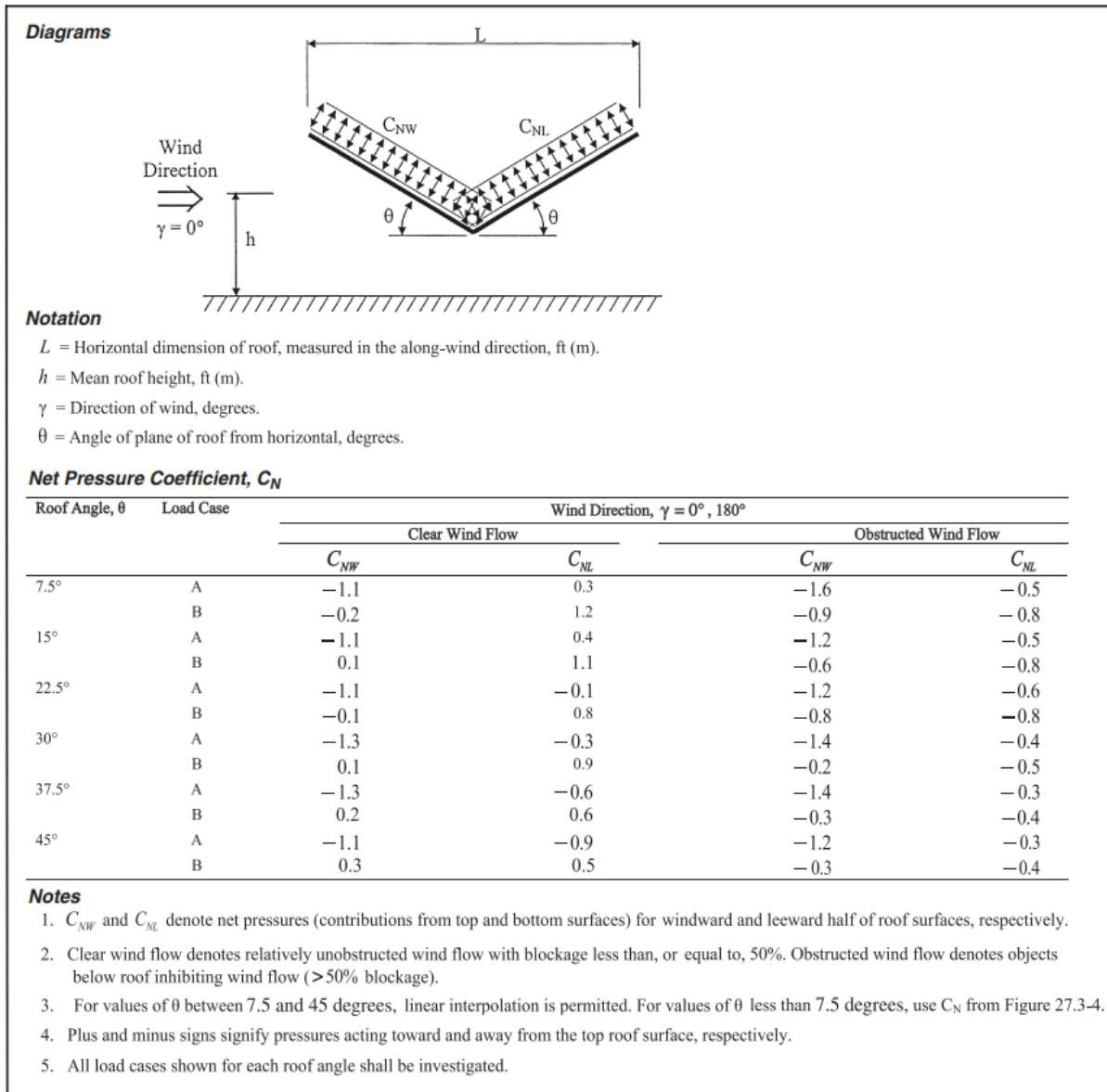
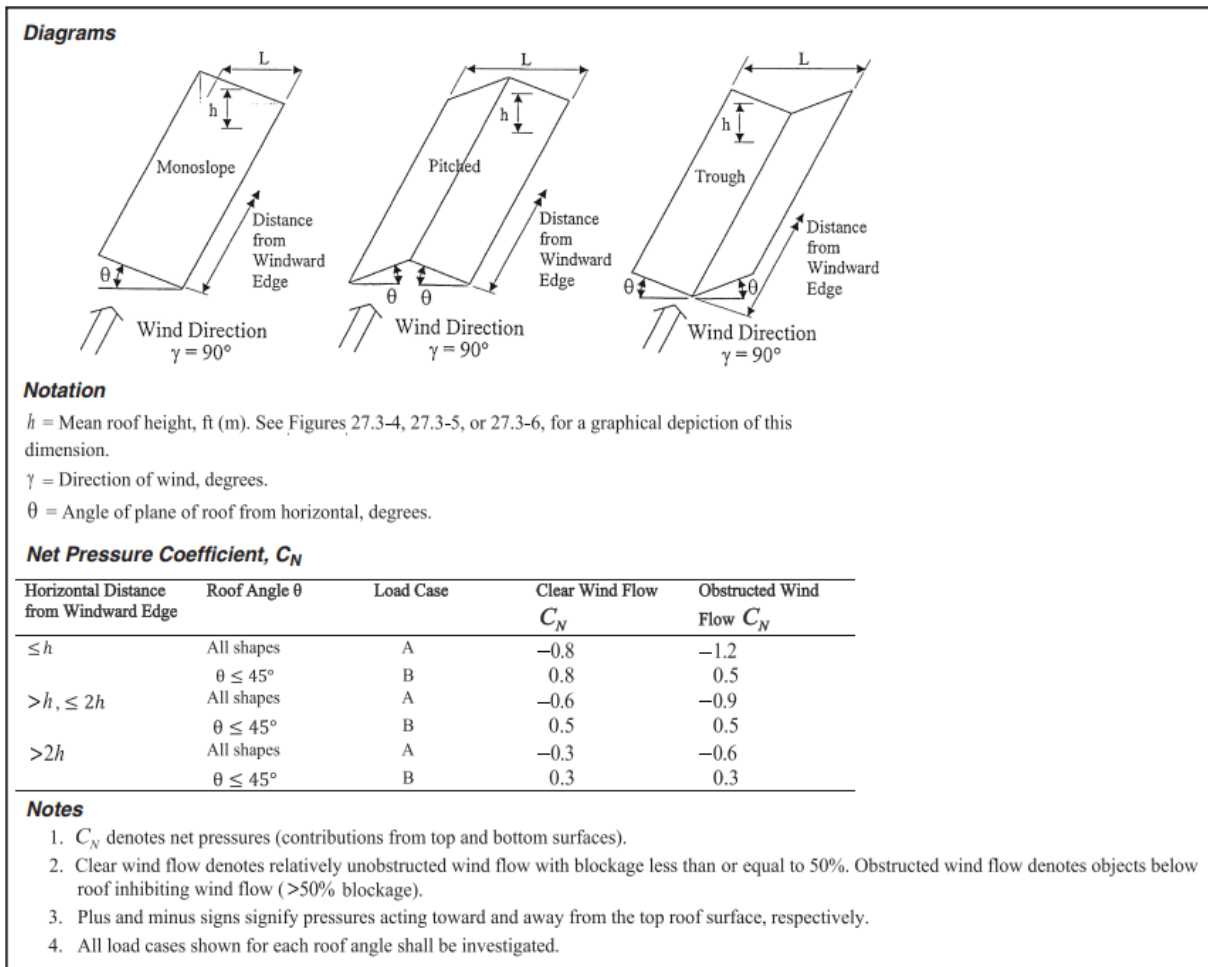


Diagrama 27.3-7. Coeficiente de presión neta, C_N , para edificios abiertos con techos libres ($\theta \leq 45^\circ, \gamma = 90^\circ, 270^\circ$)



3.2.2 Cargas de viento en estructuras - Procedimiento Direccional (Sección 27.3 del standard ASCE 7-22).

Las presiones de diseño para estructuras cerradas, parcialmente cerradas y parcialmente abiertas se deberán determinar de acuerdo a la ecuación 27.3-1:

$$p = qK_dGC_p - q_iK_d(GC_{pi}) \quad (27.3-1)$$

Donde:

$q = q_z$ para muros con presión externa en barlovento, evaluada a la altura z sobre el nivel de terreno

$q = q_h$ para muros con presión externa en sotavento, muros laterales y techos, evaluada a la altura h sobre el nivel de terreno

$q_i = q_z$ para muros con presión interna positiva en estructuras parcialmente cerradas, evaluada a la altura z definida como el nivel de la abertura más elevada, conservadoramente z puede tomar la altura h .

$q_i = q_h$ para muros en barlovento, muros laterales, muros en sotavento y techos de estructuras cerradas, parcialmente abiertas y para muros con presión interna negativa en estructuras parcialmente cerradas.

C_p es el Coeficiente de presión externa determinado de acuerdo a las figuras 27.3-1, 27.3-2 y 27.3-3.

3.3 . ANALISIS DE CARGAS DE VIENTO DE ACUERDO AL “STANDARD ASCE 7-22” EJEMPLO DE APLICACIÓN

Este capítulo consiste en aplicar los pasos vistos anteriormente para realizar el análisis de cargas de viento de una estructura, específicamente de una nave industrial.

Antes de comenzar con el procedimiento de análisis de cargas de viento se presenta el caso de estudio, mismo caso que se utilizó para el caso de sismo, el caso de estudio fue planteado y desarrollado con una configuración relativamente fácil para poder analizar y evaluar de forma rápida y práctica, esto con el fin de que el lector pueda comprender cada paso que se va ejecutando.

El caso de estudio consiste en una nave industrial destinada a ser un centro de distribución de diferentes productos comerciales, y cuenta con una geometría y dimensiones como se muestra en la figura 3.3.2 y 3.3.3, la figura 3.3.1 muestra el sitio en que se encuentra la estructura a analizar, Los Ángeles California.



Figura 3.3.1 Ubicación de la estructura a analizar (ASCE 7 HAZAR TOOL)

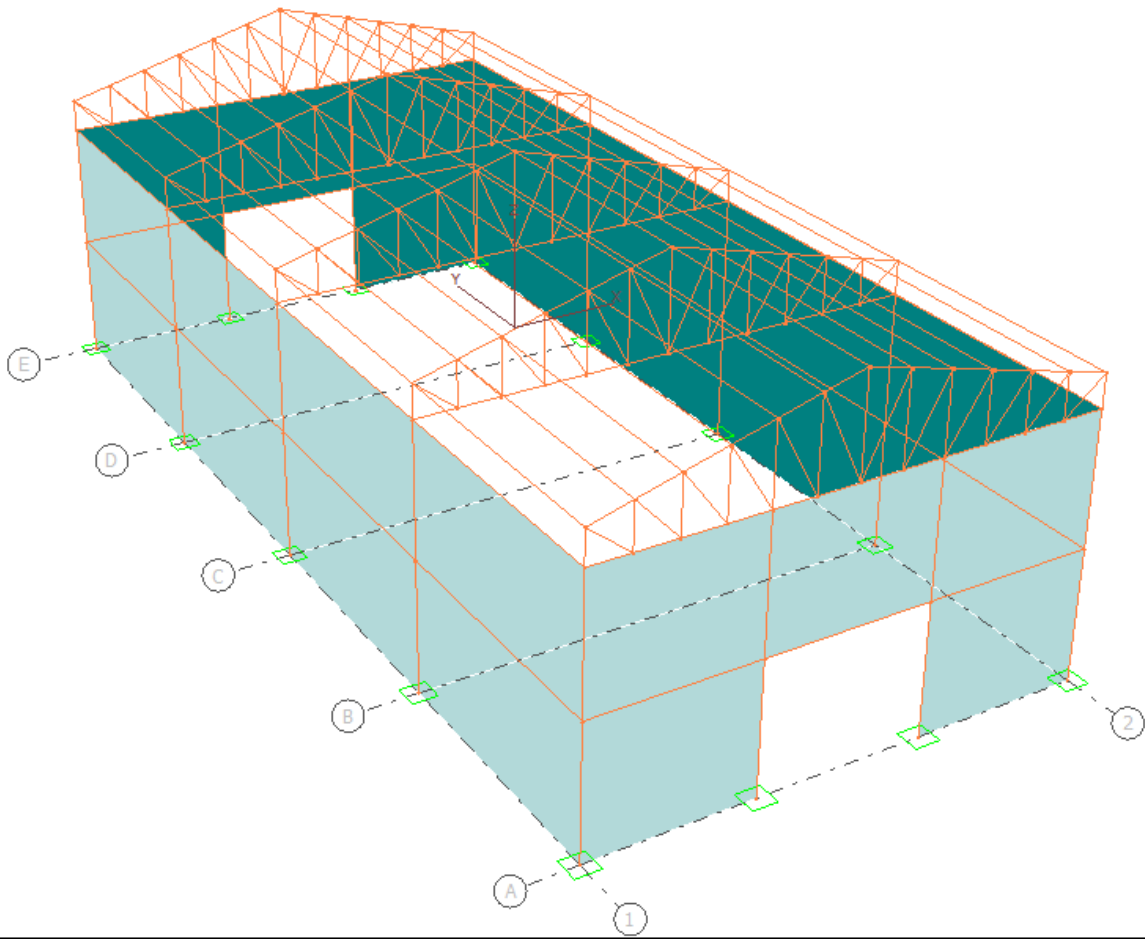


Figura 3.3.2 Modelado de la estructura caso de estudio (Software de análisis y diseño estructural ECOgcW3)

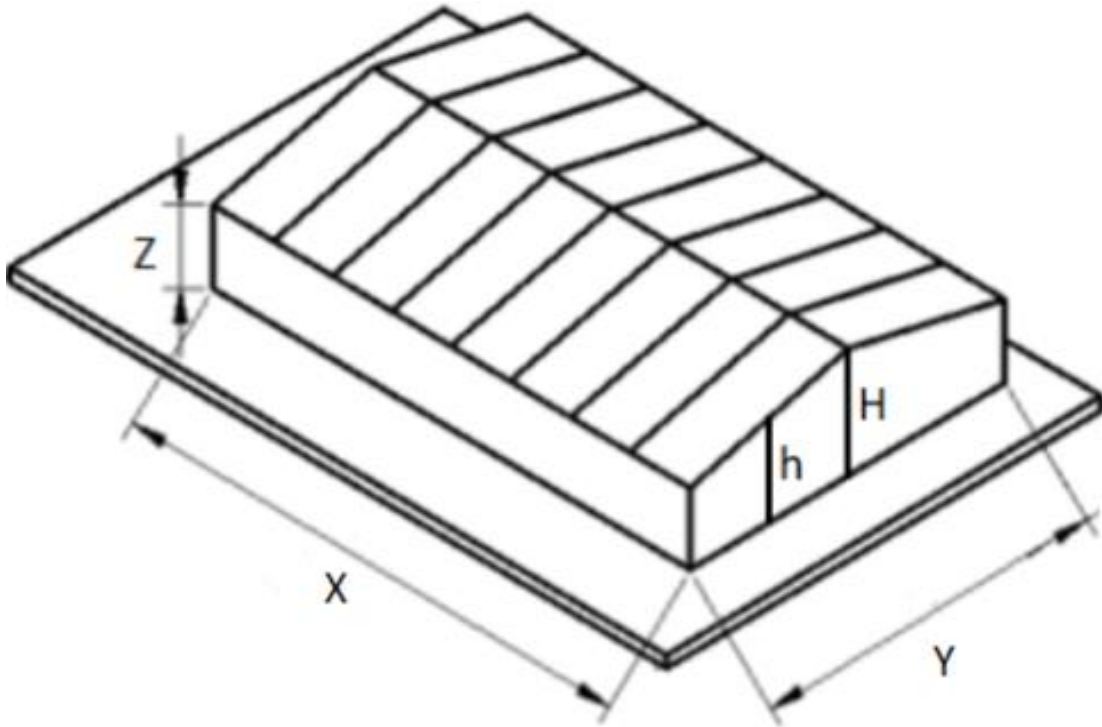


Figura 3.3.3 Geometría general de la estructura a analizar (vista isométrica)

Donde:

$$X := 32 \text{ m} = 104.99 \text{ ft} \quad \text{Largo de la estructura (dimensión mayor de la base)}$$

$$Y := 15 \text{ m} = 49.21 \text{ ft} \quad \text{Ancho de la estructura (dimensión menor de la base)}$$

$$Z := 9 \text{ m} = 29.53 \text{ ft} \quad \text{Altura baja de la estructura}$$

$$H := 11 \text{ m} = 36.09 \text{ ft} \quad \text{Altura máxima de la estructura}$$

$$h := \frac{(H+Z)}{2} = 10 \text{ m} \quad \text{Altura media de la estructura}$$

$$\theta := \text{atan} \left(\frac{(H-Z)}{\left(\frac{Y}{2}\right)} \right) = 14.93 \text{ deg} \quad \text{Ángulo de pendiente de la cubierta}$$

Pasos que seguir para determinar las cargas de viento de una nave industrial

Paso 1.- Determinar categoría de riesgo de la estructura, tabla 1.5-1 del manual ASCE 7-22

Paso 2.- Determinar la velocidad básica del viento dependiendo de la categoría de riesgo de la estructura. (Obtenido de la base de datos ASCE 7 HAZARD TOOL)

Paso 3.- Determinar parámetros de carga del viento:

- Factor direccional del viento, sección 26.6
- Categoría de exposición, sección 26.7
- Factor topográfico, sección 26.8
- Factor de elevación del terreno, sección 26.9
- Coeficiente de exposición de presión de velocidad, sección 26.10.1, ver tabla 26.10-1

Paso 4.- Determinar presión de velocidad, sección 26.10, ver ecuación 26.10-1

Paso 5.- Determinar si la estructura es flexible o rígida, sección 26.11.2

Paso 6.- Determinar el factor de efectos de ráfaga, sección 26.11

Paso 7.- Determinar la clasificación de encierro de la estructura, sección 26.12

Paso 8.- Determinar coeficiente de presión interna, sección 26.13, ver tabla 26.13-1

Paso 9.- Determinar coeficiente de presión externa, ver figura 27.3-1

Paso 10.- Calcular la presión del viento para cada superficie, ver ecuación 27.3-1

Paso 1.- Determinar categoría de riesgo de la estructura, ver tabla 1.5-1 del standard ASCE 7-22.

El objeto de estudio en cuestión es una nave industrial, cuyo uso será un centro de distribución de diferentes productos comerciales, la falla de una estructura como esta no es considerada como un riesgo sustancial para la vida humana o de alto impacto para la sociedad ,pero al mismo tiempo, no representa un bajo riesgo, por tanto, se podría categorizar esta estructura con un factor de riesgo tipo II

Table 1.5-1. Risk Category of Buildings and Other Structures for Flood, Wind, Tornado, Snow, Earthquake, and Ice Loads.

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

*Buildings and other structures containing toxic, highly toxic, or explosive substances shall be eligible for classification to a lower risk category if it can be demonstrated to the satisfaction of the Authority Having Jurisdiction by a hazard assessment as described in Section 1.5.3 that a release of the substances is commensurate with the risk associated with that risk category.

Tabla 1.5-1 Categoría de riesgo de edificios y otras estructuras para inundaciones, viento, tornado, nieve, sismos, y cargas de hielo

Paso 2.- Determinar la velocidad básica del viento dependiendo de la categoría de riesgo de la estructura. (Obtenido de la base de datos ASCE 7 HAZARD TOOL)

Por fines prácticos, para determinar la velocidad básica del viento se utiliza la base de datos del ASCE (ASCE 7 HAZARD TOOL), el cual, para ser utilizado solo es necesario seleccionar la categoría de riesgo de la estructura, la clase de suelo, el tipo de carga y seleccionar la ubicación del lugar por medio de coordenadas, o seleccionar el sitio a través de su mapa didáctico. En el apartado 1.5 de este trabajo se especifica como utilizar la herramienta de peligro ASCE 7-22.

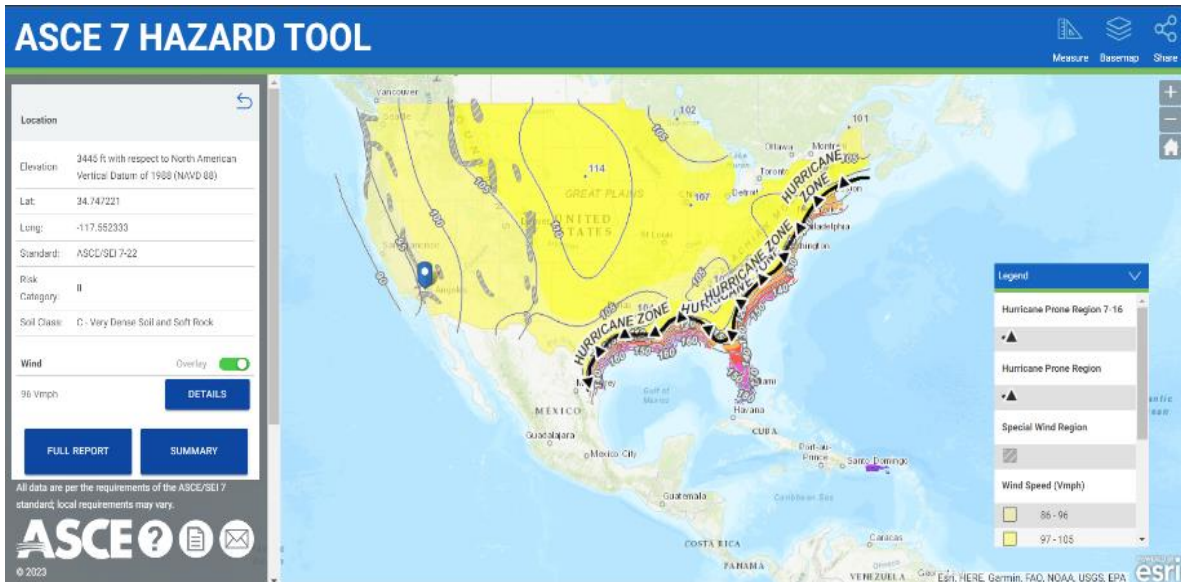


Figura 3.3.4 Interfaz de resultados para cargas de viento, herramienta de peligro ASCE 7 (Fuerzas de viento)

De la base de datos del ASCE 7 se obtiene que la velocidad básica del viento en millas por hora, resultando ser de 96 mph (42.91 m/s).

Paso 3.- Determinar los parámetros de carga del viento:

- **FACTOR DE DIRECCIÓN DEL VIENTO (Sección 26.6 ASCE 7-22)**

El factor de dirección de viento es determinado a través de la tabla 26.6-1:

$$K_d = 0.85$$

Table 26.6-1. Wind Directionality Factor, K_d .

Structure Type	Directionality Factor K_d
Buildings	
Main wind force resisting system	0.85
Components and cladding	0.85

Hay que recordar que al principio del capítulo 3 de este trabajo, se especificó los tipos de estructuras que son sometidas a cargas de viento, siendo estos los Sistemas principales de resistencias de fuerzas de viento (por sus siglas en inglés MWFRS) y los componentes y revestimientos.

- **CATEGORIA DE EXPOSICIÓN (Sección 26.7 ASCE 7-22)**

Para fines de este trabajo y poder apreciar mejor los efectos de cargas de viento, se estimará que la estructura a analizar esta en una categoría de exposición de clase C, debido a que una exposición de clase B es una condición donde los efectos del viento no son muy apreciables y una categoría de clase D es una condición mucho más particular.

Categoría de exposición de clase C

- **EFFECTOS TOPOGRAFICOS (FACTOR TOPOGRAFICO) (Sección 26.8 ASCE 7-22)**

La estructura no se encuentra cerca de montañas, crestas y escarpas por tanto el factor topográfico es : $K_{zt} = 1.0$

- **FACTOR DE ELEVACIÓN DEL TERRENO (Sección 26.9 ASCE 7-22)**

$Z_e := 3500$ Elevación del terreno sobre el nivel del mar en ft (obtenido de la herramienta de peligro ASCE7)

Table 26.9-1. Ground Elevation Factor, K_e .

Ground Elevation above Sea Level		Ground Elevation Factor, K_e
ft	m	
<0	<0	See note 2
0	0	1.00
1,000	305	0.96
2,000	610	0.93
3,000	914	0.90
4,000	1,219	0.86
5,000	1,524	0.83
6,000	1,829	0.80
>6,000	>1,829	See note 2

Notes:

1. Conservative approximation $K_e = 1.00$ is permitted in all cases.
2. Factor K_e shall be determined from Table 26.9-1 using interpolation or from the following formula for all elevations: $K_e = e^{-0.0000362z_e}$ ($z_e =$ ground elevation above sea level, ft); or $K_e = e^{-0.000119z_e}$ ($z_e =$ ground elevation above sea level, m).
3. K_e is permitted to be taken as 1.00 in all cases.

$$K_e := e^{-0.0000362 \cdot Z_e} = 0.88 \quad \text{Factor de elevación del terreno}$$

- **COEFICIENTE DE EXPOSICIÓN DE LA PRESIÓN DE VELOCIDAD (Sección 26.10.1 ASCE 7-22)**

Este coeficiente es determinado por la tabla 26.10-1, y se basa en la categoría de exposición de la estructura, determinada anteriormente (categoría de exposición C).

La presión del viento se evalúa en diferentes alturas, o diferentes niveles, la presión del viento debe evaluarse cada cambio de nivel o si hay aberturas significativas también debe evaluarse a la altura más grande donde termine la abertura (para presiones internas).

Para nuestro caso de estudio se evaluará la presión del viento según los siguientes niveles

H = 11m (36.09 ft) Nivel más alto de la cubierta

h = 10m (32.80 ft) Nivel promedio de la cubierta

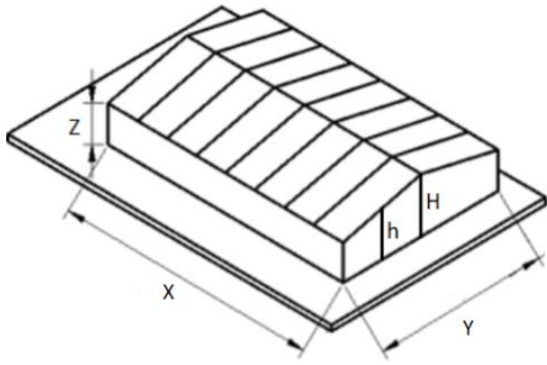
Z = 9m (29.53 ft) Nivel donde termina el muro e inicia la cubierta inclinada

a = 4.5m (14.76 ft) Altura de la abertura frontal y posterior

Interpolando de la tabla 26.10-1 se obtiene que el coeficiente de exposición de la presión de velocidad K_h

Table 26.10-1. Velocity Pressure Exposure Coefficients, K_h and K_z .

Height above Ground Level, z or h		Exposure		
ft	m	B	C	D
0-15	0-4.6	0.57 (0.70)*	0.85	1.03
20	6.1	0.62 (0.70)*	0.90	1.08
25	7.6	0.66 (0.70)*	0.94	1.12
30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.74	1.04	1.22
50	15.2	0.79	1.09	1.27
60	18.3	0.83	1.13	1.31
70	21.3	0.86	1.17	1.34
80	24.4	0.90	1.21	1.38
90	27.4	0.92	1.24	1.40
100	30.5	0.95	1.26	1.43

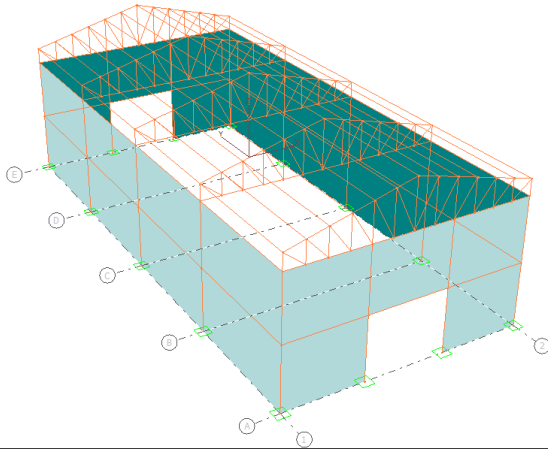


Para H = 11m $K_H = 1.016$

Para h = 10m $K_h = 0.99$

Para Z = 9m $K_z = 0.97$

Para a = 4.5m $K_a = 0.85$



PASO 4.- Presión de velocidad (Sección 26.10 ASCE 7-22)

Una vez determinados los parámetros de carga de viento, se procede al cálculo de la presión de velocidad del viento, por medio de la ecuación 26.10-1.

Eq. 26.10-1 $q_z := 0.00256 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_e \cdot V^2$ Presión de velocidad a una altura Z en lb/ft²

Eq. 26.10-1 $q_{zsi} := 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_e \cdot V_{si}^2$ Presión de velocidad a una altura Z en N/m²
Sistema inter.

Presión del viento a una altura de 11 m $q_H = 0.00256 * 1.01 * 1 * 0.88 * (96*96) = 20.96$

Presión del viento a una altura de 10 m $q_h = 0.00256 * 0.99 * 1 * 0.88 * (96*96) = 20.55$

Presión del viento a una altura de 9 m $q_z = 0.00256 * 0.97 * 1 * 0.88 * (96*96) = 20.13$

Presión del viento a una altura de 4.5 m $q_a = 0.00256 * 0.85 * 1 * 0.88 * (96*96) = 17.64$

Paso 5.- Determinar si la estructura es flexible o rígida, sección 26.11.2

Para este ejemplo de aplicación se considerará que no se cuenta con modelo de cómputo que nos proporcione la frecuencia natural fundamental de la estructura, esto con el objeto de inmiscuirse en la normativa ASCE 7, por tanto, cuando no se cuenta con un modelo que nos proporcione la frecuencia natural fundamental es válida usar la frecuencia natural aproximada, siempre y cuando se cumplan con 2 requisitos:

A).- La altura de la estructura es menor o igual a 300 pies (90m).

B).- La altura de la estructura es menor a 4 veces su longitud efectiva, L_{eff}

$$h_i := \frac{h}{ft} = 32.81 \quad \text{Altura de la estructura en pies (altura media)}$$

$$h_{isi} := \frac{h}{m} = 10 \quad \text{Altura de la estructura en metros (altura media)}$$

$$L_{ix} := X = 104.99 \text{ ft} \quad \text{Longitud de la estructura paralela al sentido del viento (en dirección x)}$$

$$L_{iy} := Y = 49.21 \text{ ft} \quad \text{Longitud de la estructura paralela al sentido del viento (en dirección y)}$$

$$\text{Eq. 26.11-1} \quad L_{effx} := \frac{h_i \cdot L_{ix}}{h_i} = 104.99 \text{ ft} \quad \text{Longitud efectiva de la estructura (en dirección x)}$$

$$\text{Eq. 26.11-1} \quad L_{effy} := \frac{h_i \cdot L_{iy}}{h_i} = 49.21 \text{ ft} \quad \text{Longitud efectiva de la estructura (en dirección y)}$$

$$\text{REQUISITO A.-} \quad \left. \begin{array}{l} \text{if } h \leq 300 \text{ ft} \\ \quad \parallel \text{ "cumple" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \end{array} \right| = \text{"cumple"}$$

$$\text{REQUISITO B.- (En dirección x)} \quad \left. \begin{array}{l} \text{if } h \leq 4 \cdot L_{effx} \\ \quad \parallel \text{ "cumple" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \end{array} \right| = \text{"cumple"}$$

$$\text{REQUISITO B.- (En dirección y)} \quad \left. \begin{array}{l} \text{if } h \leq 4 \cdot L_{effy} \\ \quad \parallel \text{ "cumple" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "No cumple" } \end{array} \right| = \text{"cumple"}$$

La estructura para analizar cumple con ambos requisitos, por tanto, se puede utilizar su frecuencia natural aproximada ,na, para determinar si la estructura es considerada como rígida o flexible. (La frecuencia natural aproximada de una estructura de acero está determinada por la ecuación 26.11-2)

Eq. 26.11-2 $na := \frac{22.2}{h_i^{0.8}} = 1.36$ *Frecuencia Natural Aproximada en Hz*

if $na < 1$ "Estructura Flexible" else "Estructura Rigida"	= "Estructura Rigida"	*La frecuencia natural aproximada de la estructura es mayor a 1 Hz, por tanto, se considera como estructura Rigida
---	-----------------------	--

PASO 6.- Factor de efecto de ráfaga , estructuras rígidas (Sección 26.11.4 ASCE 7-22)

Como se mencionó anteriormente, el factor de efecto de ráfaga, para estructuras consideradas como rígidas, puede ser tomado como 0.85,

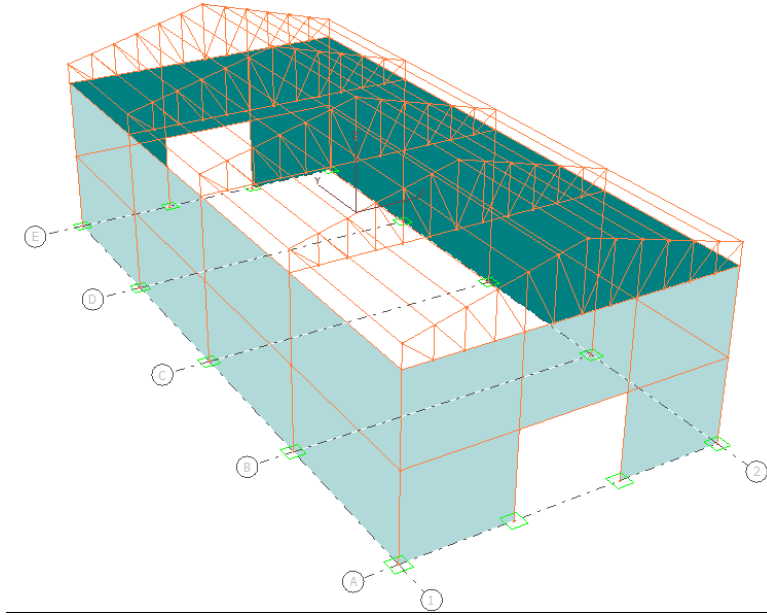
$G_{fx} = 0.85$

$G_{fy} = 0.85$

PASO 7 .- Clasificación de encierro (Sección 26.12 ASCE 7-22)

La estructura para analizar cuenta con dos aberturas únicamente, una delantera y una trasera, con estas dos aberturas son suficientes para clasificar a la estructura como parcialmente cerrada

Enclosure := "Edificio parcialmente cerrado"



PASO 8 .- Coeficiente de presión interna (Sección 26.13 ASCE 7-22)

Los coeficientes de presión interna (GC_{pi}) se determinarán a partir de la Tabla 26.13-1 con base en las clasificaciones de encierro de edificios determinadas en el paso 6

Table 26.13-1. Main Wind Force Resisting System and Components and Cladding (All Heights): Internal Pressure Coefficient, (GC_{pi}), for Enclosed, Partially Enclosed, Partially Open, and Open Buildings (Walls and Roof).

Enclosure Classification	Criteria for Enclosure Classification	Internal Pressure	Internal Pressure Coefficient (GC_{pi})
Enclosed buildings	A_o is less than the smaller of $0.01A_g$ or 4 ft^2 (0.37 m^2), and $A_{oi}/A_{gi} \leq 0.2$	Moderate	+0.18 -0.18
Partially enclosed buildings	$A_o > 1.1A_{oi}$, and $A_o >$ the lesser of $0.01A_g$ or 4 ft^2 (0.37 m^2), and $A_{oi}/A_{gi} \leq 0.2$	High	+0.55 -0.55
Partially open buildings	A building that does not comply with Enclosed, Partially Enclosed, or Open classifications	Moderate	+0.18 -0.18
Open buildings	Each wall is at least 80% open	Negligible	0.00

Notes:

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

Tipo de presión interna, obtenido de la tabla 26.13-1

$$Presion.interna := \begin{cases} \text{if } Enclosure = \text{"Edificio cerrado"} \\ \quad || \text{"Moderada"} \\ \text{if } Enclosure = \text{"Edificio parcialmente cerrado"} \\ \quad || \text{"Alta"} \\ \text{if } Enclosure = \text{"Edificio parcialmente abierto"} \\ \quad || \text{"Moderada"} \\ \text{if } Enclosure = \text{"Edificio abierto"} \\ \quad || \text{"Despreciable"} \end{cases} = \text{"Alta"}$$

Coefficiente de presión interna, obtenido de la tabla 26.13-1

$$GC_{pi} := \begin{cases} \text{if } Enclosure = \text{"Edificio cerrado"} \\ \quad || 0.18 \\ \text{if } Enclosure = \text{"Edificio parcialmente cerrado"} \\ \quad || 0.55 \\ \text{if } Enclosure = \text{"Edificio parcialmente abierto"} \\ \quad || 0.18 \\ \text{if } Enclosure = \text{"Edificio abierto"} \\ \quad || 0.0 \end{cases} = 0.55$$

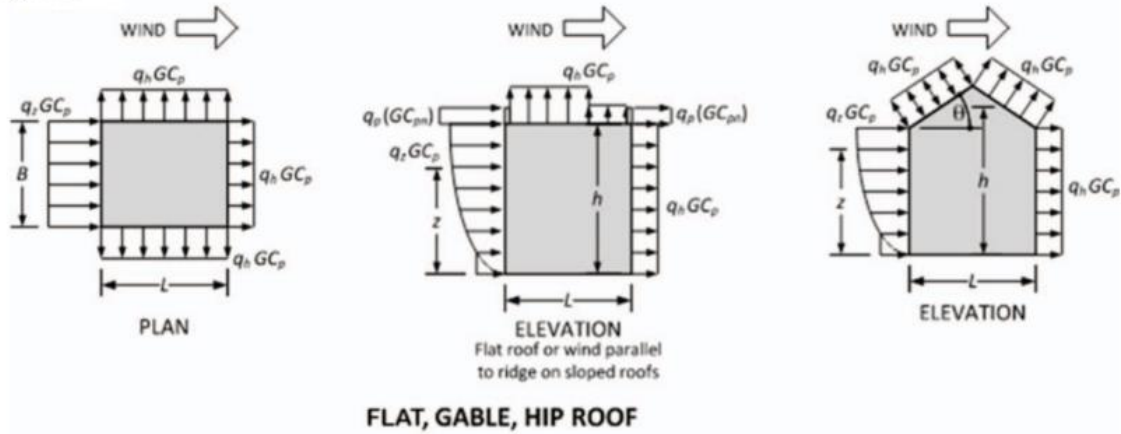
Paso 9.- Determinar coeficiente de presión externa, ver figura 27.3-1

La geometría general de la estructura (incluyendo la cubierta) a analizar se definió al inicio de este capítulo, figura 3.3.2, (también sirve como referencias las figuras 3.3.3), y la clasificación de encierro se definió en el paso número 7, Edificio parcialmente cerrado. Con estos datos el standard ASCE 7-22 nos dice que utilicemos la figura 27.3-1 para la obtención de los coeficientes de presión externa.



*Nota: Sotavento y barlovento son términos marinos. Hacia donde el viento se dirige se llama sotavento y de donde sopla el viento se llama barlovento.

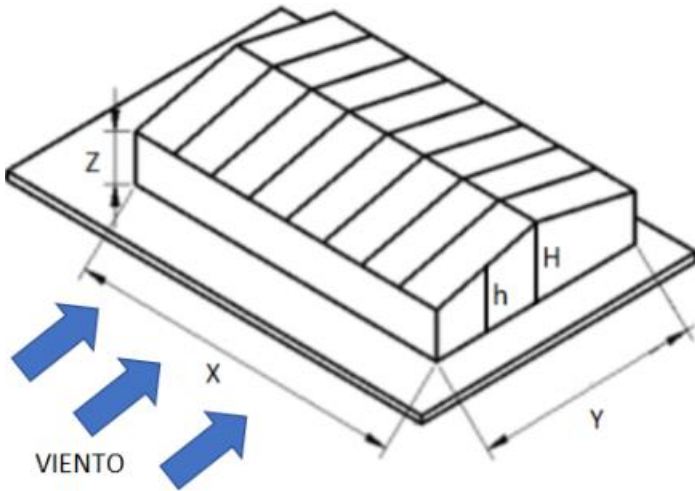
Diagrams



Wall Pressure Coefficients, C_p

Surface	L / B	C_p	Use with
Windward wall	All values	0.8	q_z
Leeward wall	0-1	-0.5	q_h
	2	-0.3	q_h
	≥ 4	-0.2	q_h
Sidewall	All values	-0.7	q_h
Parapet	All values	See Section 27.3.4 for GC_{pn}	q_p

Cuando el viento ejerce fuerza en dirección normal al eje “x” y paralela al eje “y”



• Para muros de barlovento, $C_p = 0.8$.

• Para muros en sotavento,

con $B = 32.0$ m y $L = 15$ m

$$L/B = 15/32 = 0.46$$

Interpolando para L/B

$$C_p = -0.5$$

• Para muros laterales, $C_p = -0.7$

Geometría general de la estructura a analizar (Dirección del viento normal al eje "X" y paralela al eje "Y")

Roof Pressure Coefficients, C_p , for use with q_h

Wind Direction	h/L	windward									Leeward				
		Angle, θ									Angle, θ				
		10°	15°	20°	25°	30°	35°	45°	60°	60° < θ ≤ 80°	> 80°	10°	15°	≥ 20°	
Normal to Ridge for $\theta \geq 10^\circ$	≤ 0.25	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	0.0°								
		-0.18	0.0°	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.01 θ	0.8	-0.3	-0.5	-0.6	
	0.5	-0.9	-0.7	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	0.0°							
		-0.18	-0.18	0.0°	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.01 θ	0.8	-0.5	-0.5	-0.6	
≥ 1.0	-1.3 ^b	-1.0	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	0.0°								
	-0.18	-0.18	-0.18	0.0°	0.2	0.2	0.3	0.6	0.01 θ	0.8	-0.7	-0.6	-0.6		

- Para la cubierta sometida a barlovento con ángulo de cubierta de 14.94°

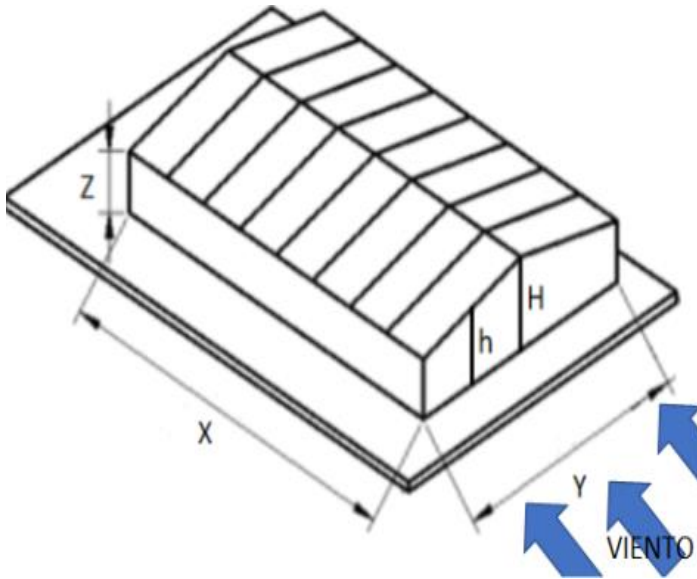
$$h/L = 10/15 = 0.66$$

$$C_p = -0.18$$

- Para la cubierta sometida a sotavento con ángulo de cubierta de 14.94°

$$C_p = -0.5$$

Cuando el viento ejerce fuerza en dirección normal al eje “y” y paralela al eje “x”



- Para muros de barlovento, $C_p = 0.8$.
- Para muros en sotavento,

con $B = 15$ m y $L = 32$ m

$$L/B = 32/15 = 2.13$$

Interpolando para $L/B = 2.13$,

$$C_p = -0.3$$

- Para muros laterales, $C_p = -0.7$

Geometría general de la estructura a analizar (Dirección del viento normal al eje "Y" y paralela al eje "X")

Wind Direction	h/L	Horizontal Distance from Windward Edge	C_p
Normal to Ridge for $\theta < 10^\circ$ and Parallel to Ridge for all θ	≤ 0.5	0 to $h/2$	-0.9, -0.18
		$h/2$ to h	-0.9, -0.18
		h to $2h$	-0.5, -0.18
		$> 2h$	-0.3, -0.18
	≥ 1.0	0 to $h/2$	-1.3*, -0.18
		$> h/2$	-0.7, -0.18

- Para el techo sometido a barlovento con ángulo de cubierta de 0.0°
*Recordar que en este sentido no hay inclinación de cubierta

$$h/L = 10/32 = 0.31$$

$$C_p = -0.13$$

Viento en dirección paralela al eje Y	
Muro	Coficiente C_p
Muro en barlovento	0.8
Muro en sotavento	-0.5
Muros laterales	-0.7
Cubierta en barlovento	-0.18
Cubierta en sotavento	-0.5

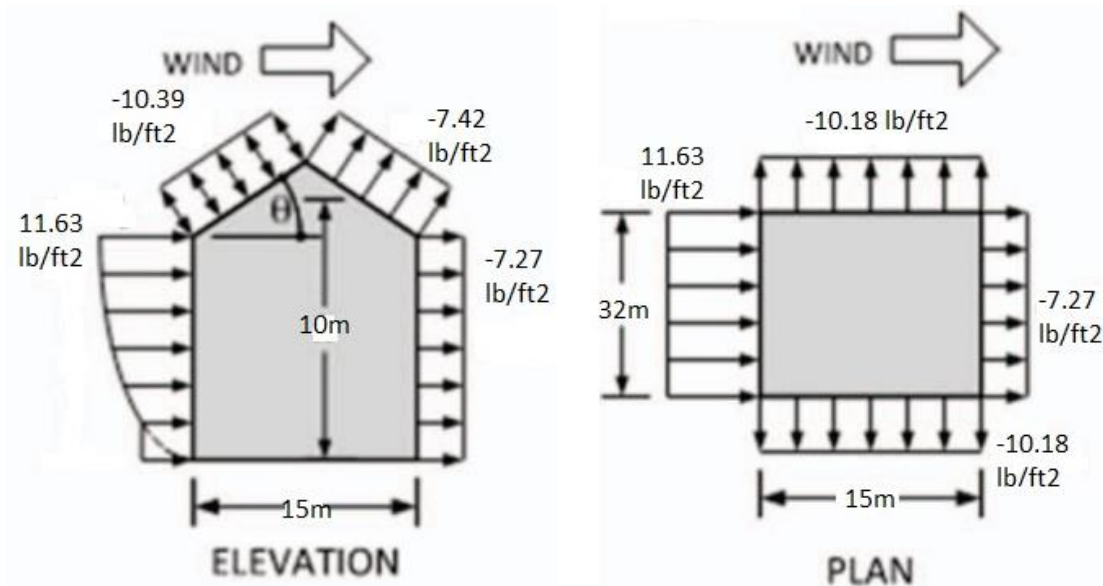
Viento en dirección paralela al eje X	
Muro	Coficiente C_p
Muro en barlovento	0.8
Muro en sotavento	-0.3
Muros laterales	-0.7
Azotea en barlovento	-0.18

Paso 10.- Calcular la presión del viento para cada superficie, ver ecuación 27.3-1

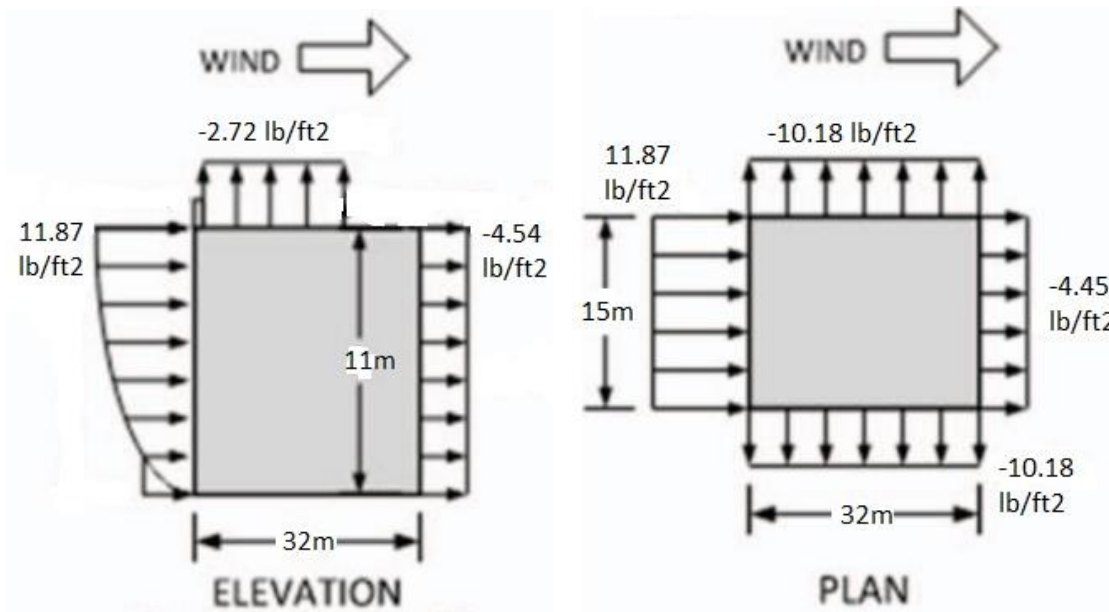
Las presiones de diseño para estructuras cerradas, parcialmente cerradas y parcialmente abiertas se deberán determinar de acuerdo a la ecuación 27.3-1:

$$p = qK_dGC_p - q_iK_d(GC_{pi}) \quad (27.3-1)$$

Viento en dirección paralela al eje Y		
Muro	Presión Externa	Presión Interna
Muro en barlovento Z=9m (29.53ft)	11.6351	9.4108
Muro en sotavento Z=9m (29.53ft)	-7.2720	9.4108
Muros laterales Z=9m (29.53ft)	-10.1807	9.4108
Cubierta en barlovento Z=10m (32.80 ft)	-10.3932	9.6071
Cubierta en sotavento Z=10m (32.80 ft)	-7.4237	9.6071



Viento en dirección paralela al eje X		
Muro	Presión Externa	Presión Interna
Muro en barlovento Z=10 m (32.80 ft)	11.8779	8.24670
Muro en sotavento Z=10 m (32.80 ft)	-4.4542	8.24670
Muros laterales Z= 9 m (29.53ft)	-10.1807	9.41078
Cubierta en barlovento Z= 11m (36.09 ft)	-2.7258	9.79880



CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se estudió el análisis de viento y sismo a través del standard ASCE 7-22, siendo este una de las normativas más actualizadas y que se mantiene a la vanguardia actualizándose periódicamente, de este estudio se pueden concluir varios datos, resaltando principalmente los siguientes.

1.- La idea principal de este trabajo fue la de investigar/estudiar el standard ASCE 7-22 y ver que conceptos o ideas era las más relevantes que podrían ser aplicadas a normativas de otras partes del mundo, principalmente se buscaba que fueran aplicadas a la ciudad de Puebla, esperando que fuera un volumen muy alto de datos/factores, se llega a la conclusión de que es posible adaptar gran parte de la normativa ASCE 7-22 al código reglamentario del municipio de Puebla

2.- Como se mencionó en el capítulo I de este trabajo, México es el único país de América latina que no cuenta con una normativa a nivel nacional, dejando a cada estado/municipio la libertad de crear al propio, lo cual, hasta cierto punto es correcto, ya que las necesidades a satisfacer varían de estado a estado, pero al mismo tiempo, se es necesario la creación de una normativa que estandarice varios valores a nivel nacional, además de que esto podría servir como guía para los estados que no cuentan con normativas propias y tiene que recurrir a las que satisfagan de forma más próxima sus necesidades

3.- El standard ASCE 7-22, a pesar de ser una de las normas más actualizadas y referenciadas a nivel mundial, es prácticamente desconocida para la mayoría de los ingenieros civiles de Puebla (jóvenes, incluyendo estudiantes).

4.- Se concluye que tenemos que actualizar de forma más periódica nuestras normativas, a diferencia del ASCE que lo hace cada 3 a 5 años, en la ciudad de México o de Puebla lo realizamos de forma indefinida, así también de empezar a digitalizar o contar con una base de datos, actualmente contamos con el software “PRODISIS” de CFE, y el software SASID (Exclusivo para la ciudad de México) sin embargo, al igual que las normativas, es un software

que no es actualizado periódicamente, y hace falta la inclusión de un software para velocidades de viento a nivel nacional.

6.- El estándar ASCE 7-22 a pesar de ser una normativa que está a la vanguardia, resulta ser un código hasta cierto punto ambiguo, debido al volumen de información que maneja, provocando en el lector constante confusión y hasta cansancio.

7.- Programas de análisis y diseño de última generación incluyen procedimiento automatizados del ASCE 7, lo que produce una ventaja sobre los procedimientos de códigos nacionales

RECOMENDACIONES

1.- Tomando en cuenta que las normativas nacionales se inspiran en las extranjeras, principalmente en la de Estados Unidos, se recomienda que los alumnos se les incorpore el estudio del ASCE desde nivel licenciatura en asignaturas relacionadas en sismo, viento, y diseño estructural .

2.-Realizar comparativas entre el ASCE 7 y códigos nacionales para el análisis estructural.

3.-Realizar validaciones mediante hojas de cálculo independientes (mathcad, Excel, Matlab, etc.) contra los procedimientos automatizados de software de última generación (ETABS, SAP).

4.-Abrir líneas de investigación sobre los conceptos antes mencionados a nivel maestría

5.-Familiarizarse con la herramienta de riesgos naturales online del ASCE 7, ubicada en la dirección electrónica: <https://asce7hazardtool.online/>.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- American Society of Civil Engineers. (2017). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers.
- 2.- American Society of Civil Engineers. (2022). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. American Society of Civil Engineers.
- 3.- NTCS (2017), *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo*, Reglamento de Construcciones del Distrito Federal. Gaceta Oficial de la Ciudad de México, México.
- 4.- COREMUN (2020), *Código Reglamentario Del Municipio De Puebla. Ultima reforma publicada en el periódico oficial del estado*
- 5.- Charney F. A. (2015). Seismic loads guide to the seismic load provisions of asce 7-10. American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784413524>
- 6.- NTCS para diseño de sismo del municipio de Puebla (2020), *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo del municipio de Puebla del libro tercero capitulo 17*, Código Reglamentario Del Municipio De Puebla. Periódico .
- 7.- Javier Avilés López, Gerardo A. Corona Carlos, Carlos Gonzales Espinoza (1999). Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo. Puebla Pue. Octubre 1999
- 8.- Graciani García. (2000). Historia de la construcción: Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la Construcción, Sevilla, 26 a 28 de octubre de 2000.
- 9.- Carrillo Julián, Hernández-Barríos Hugo, Rubiano Fonseca Astrid (Marzo 2013). Análisis del enfoque de diseño sismorresistente para edificios en México
- 10.- Javier Avilés López, Gerardo A. Corona Carlos, Carlos Gonzales Espinoza (1999). Estudio de riesgo sísmico evaluación del peligro sísmico en Puebla. Benemérita Universidad Autónoma De Puebla (1999)