



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**DESARROLLO DE UN COMPLEMENTO PARA EL PROCESO DE
MODELADO DE NAVES INDUSTRIALES CON SOFTWARE
ESPECIALIZADO.**

TUTOR:

Ing. Olival DVC., José P.

AUTORES:

Falconi B., Gian P.

CI. V.- 19.692.382

Ojeda M., Ana G.

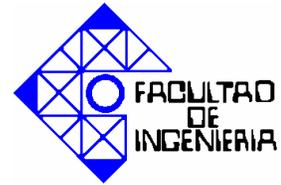
CI. V.- 25.476.131

Naguanagua, Noviembre del 2016.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**DESARROLLO DE UN COMPLEMENTO PARA EL PROCESO DE
MODELADO DE NAVES INDUSTRIALES CON SOFTWARE
ESPECIALIZADO.**

Trabajo Especial de Grado Presentado ante la Ilustre Universidad de
Carabobo para Optar por el Título de Ingeniero Civil

TUTOR:

Ing. Olival DVC., José P.

AUTORES:

Falconi B., Gian P.

CI. V.- 19.692.382

Ojeda M., Ana G.

CI. V.- 25.476.131

Naguanagua, Noviembre del 2016.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Los abajo firmantes, Miembros del Jurado designado para evaluar el Trabajo Especial de Grado titulado: **“DESARROLLO DE UN COMPLEMENTO PARA EL PROCESO DE MODELADO DE NAVES INDUSTRIALES CON SOFTWARE ESPECIALIZADO”**; realizado por los bachilleres: Falconi Gian y Ojeda Ana, hacemos constar que hemos revisado y aprobado dicho trabajo.

Presidente del Jurado

Ing. José Olival

Miembro del Jurado

Ing. Jesús Pinto

Miembro del Jurado

Ing. Slawko Bondarenko

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la salud, la guía y la capacidad de cumplir todas mis metas en esta carrera, ayudándome a seguir adelante y sobrepasar los obstáculos.

A mi familia, mis padres Carlo Falconi y Iris Betancourt de Falconi y mi hermana Carla Falconi que tanto esfuerzo han realizado para darme todo lo necesario a pesar de todo el recorrido con altos y bajos siempre estuvieron allí creyendo brindándome el apoyo, la fuerza, el amor, y la educación para lograr cumplir a cabalidad todas las metas propuestas, por enseñarme que nada en la vida es fácil, pero que con esfuerzo y determinación es posible lograr todo.

A mi tutor y amigo José Paulo Olival, por toda su ayuda y dedicación por guiarnos todo el tiempo necesario para la elaboración de este trabajo, así como su guía en mi desarrollo profesional, brindando siempre un consejo y su amistad, a cambio de nada.

A mi especial amiga Ana G. Ojeda la cual fue formadora y de vital apoyo en mi carrera y en mi vida personal que a pesar de todos los altos y bajos salimos adelante como un equipo sobrellevando todos los problemas hasta lograr cumplir nuestras metas.

A mis amigos, Jairo P., Slawko B., Sergio V., Wendy Y., Simón A., Julio L., Roberto M., Ana E., Napoleón A., Jesús P. e especial por haberme ayudado en todo momento para poder culminar mi trabajo de grado y a todos mis amigos y compañeros por brindarme su apoyo, ánimo y cariño en todo momento, durante el transcurso de mi carrera.

Gian P. Falconi B.

AGRADECIMIENTOS

Quiero en primer lugar agradecer a mi mamá Soraya Ojeda, por todos los valores que me ha enseñado desde pequeña y todo su amor, por todo su esfuerzo para que siempre tuviera oportunidades de desarrollar todo mi potencial y tener siempre la certeza de que puedo lograr grandes cosas.

A mis hermanos Marlyn, Soraya, Miguel y Luis Silva, porque cada uno de ellos fue un pilar importante para mantenerme en pie durante toda mi vida, y más aún en este momento tan especial.

A mis tíos Juan, Cheo y Luis Ojeda, y a sus esposas, por creer en mí y brindarme el apoyo que necesité sin esperar nada a cambio. Y en general, a el resto de mis familiares que pusieron un granito de arena para que hoy fuera quien soy. Los amo a todos inmensamente.

Agradezco enormemente al profesor José Paulo Olival, por ser para mí un ejemplo a seguir desde que lo conocí en el 6to semestre, por darme la oportunidad de trabajar con él, ser tutor de este trabajo de grado, el mejor padrino de promoción, y además un amigo incondicional que siempre ha buscado hacer lo correcto y no se rinde jamás. También agradezco al resto de los profesores que contribuyeron a mi formación como ser humano y profesional.

A mi compañero de tesis y apreciado amigo Gian Falconi y a su familia, no fue fácil el camino, pero gracias al trabajo en equipo ¡Lo logramos!

Por último, a mis amigas Claudia Herrera, Karina Girón, Astrid Rivolta y María Gabriela Castro. Estos últimos meses ustedes fueron en gran parte quienes me mantuvieron con ánimos para llegar hasta el final, a pesar de todas las circunstancias.

Ana G. Ojeda M.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado primero que nada de forma muy especial a Dios que me ha permitido llegar a la culminación de mi carrera y alcanzar todas mis metas, con salud, fortaleza, y bendiciones.

Dedico este logro de especial forma a mis padres Carlo Falconi e Iris de Falconi, que con tanto esfuerzo, dedicación y cariño he llegado hasta donde me encuentro. Los amo de todo corazón.

A mi nonno Paolo Falconi, porque a pesar de que en el cielo estas siempre te sigo recordando y siguiendo tus pasos, un legado que prevalece fuerte en mi mente y corazón.

A mi hna. Carla Falconi, esperando ser un ejemplo para ella y que pueda seguir mis pasos cumpliendo y llevando a cabo todos sus sueños, dándole mis mejores deseos y apoyo incondicional, te amo y quiero muchísimo.

A mi novia Francys Umbría, que con tanto cariño, paciencia, tolerancia y dedicación fue un apoyo vital, a pesar de todos los contratiempos y momentos difíciles salimos adelante, los dos como ingenieros, con un nuevo camino que recorrer lleno de logros y metas que cumplir.

Gian P. Falconi B.

DEDICATORIA

Para mis hermanos Marlyn, Soraya, Miguel y Luis. Nunca es tarde para hacer lo que más te hace feliz.

Sin importar la distancia, siempre estarán presentes en cada momento especial.

Ana G. Ojeda M.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**DESARROLLO DE UN COMPLEMENTO PARA EL PROCESO DE
MODELADO DE NAVES INDUSTRIALES CON SOFTWARE
ESPECIALIZADO.**

Autores: Falconi B., Gian P. Y Ojeda M., Ana G
Tutor: Olival DVC., José P.
Naguanagua, Noviembre de 2016.

RESUMEN

En este trabajo se desarrolló un complemento o programa informático usando como base la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API), específicamente la que se relaciona con ETABS 2015 para personalizar un conjunto de herramientas adicionales, disponible en la forma de una biblioteca de enlace dinámico (DLL) que es una parte de código que se ejecuta en el momento en que el programa principal llama a una función que esté contenida allí. El complemento lleva por nombre MODENAVIA y permite a los usuarios optimizar el proceso de modelado de naves industriales a través de un Formulario de Windows, donde se pueden introducir de forma parametrizada los datos generales de la estructura a modelar y las cargas que actúan sobre ella (permanente, variable y acción del viento según Norma Venezolana COVENIN-MINDUR 2003-89). Esta información es procesada posteriormente para crear el modelo de ETABS a través de métodos (definidos en informática como una serie de sentencias para llevar a cabo una acción sobre un objeto) seleccionados del Archivo HTML de ayuda compilado "CSi API ETABS 2015". El resultado es un modelo generado en pocos minutos y representa para el Ingeniero Estructural una importante disminución del tiempo empleado comúnmente en este proceso, permitiendo avanzar sin errores a la etapa de diseño. Generalmente una API es compatible con lenguajes de fácil dominio como Visual Basic for Applications (VBA) al cual se puede acceder desde Microsoft Office Excel, Visual Basic a través del compilador Visual Studio o de la versión Express Edition, C++, C#, etc. Además, existen otras reconocidas compañías de softwares abiertas a colaboradores que cuentan con una API; entre ellas AUTODESK y Bentley. El conocimiento y uso de esta tecnología



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



representa un sinfín de posibilidades de crear, adaptar o personalizar herramientas de softwares en las distintas tareas específicas que realizan los ingenieros.

Palabras Clave: API , Naves Industriales, Software Especializado, ETABS.



ÍNDICE

RESUMEN	viii
ÍNDICE	X
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
TABLA DE NOTACIONES	xvii
LISTA DE UNIDADES	xxi
INTRODUCCIÓN	22
CAPÍTULO I	24
1.1 Planteamiento del Problema	24
1.2 Objetivos de la Investigación.....	26
1.2.1 Objetivo General.....	26
1.2.2 Objetivos Específicos	26
1.3 Justificación.....	28
1.4 Alcance.	28
1.5 Limitaciones	29
CAPÍTULO II	30
2.1 Antecedentes de la investigación	30
2.2 Bases Teóricas	32
2.2.1 Interfaz de Programación de Aplicaciones, API.....	32
2.2.2 Naves Industriales	33
2.2.3 Tipos de Naves Industriales:	38
2.3 Acciones mínimas e hipótesis de solicitudes	40



CAPÍTULO III.....	43
3.1 Tipo de investigación	43
3.2 Diseño de la Investigación	43
3.3 Fases de la investigación.....	44
3.3.1 Recolección de Datos	44
3.3.2 Procesamiento de Datos	52
3.3.3 Obtención de Resultados	53
CAPÍTULO IV.....	55
4.1 Diagramas de Flujo.....	55
4.2 Creación del archivo de la nave.....	63
4.2.1 Nave simple a un agua.....	63
4.2.2 Nave simple o múltiple a dos aguas.....	66
4.2.3 Cálculo de la acción del viento.....	69
4.2.4 Guardado de los datos generales de la nave.....	70
4.3 Creación del modelo de ETABS.	71
4.3.1 Enlace con la API de ETABS	72
4.4 Ejecución del programa.	74
4.5 Análisis de resultados.	90
CONCLUSIONES	91
RECOMENDACIONES	92
BIBLIOGRAFÍA.....	93
ANEXOS.....	95
A.1 Acciones de viento.....	95



A.1.1 Validez y Alcance (Capitulo C-1 NORMA COVENIN-MINDUR
2003-89):.....95



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Hipótesis de solicitaciones para el estado límite de agotamiento resistente.	42
Tabla 2. Formato de encuesta aplicada.	45
Tabla 3. Acciones en sistemas resistentes al viento.	99
Tabla 4. Acciones en componentes y cerramientos.	101
Tabla 5. Factor de Importancia Eólica.	105
Tabla 6. Velocidad Básica del Viento por Localidad.	108
Tabla 7. Tipo de Exposición para Componentes y Cerramientos.	114
Tabla 8. Constantes para el cálculo de K_z y K_h	119
Tabla 9. Coeficientes de exposición a la presión dinámica K_z o K_h , según COVENIN-MINDUR 2003 89.	120
Tabla 10. Coeficientes de arrastre k sobre una superficie.	121
Tabla 11. Coeficiente C_p para el cálculo de las acciones externas en Naves Industriales a un agua y a dos aguas; Empuje y Succión para las fachadas.	125
Tabla 12. Coeficiente C_p para el cálculo de las acciones externas en Naves Industriales a un agua y a dos aguas; Empuje y Succión para techos.	125
Tabla 13. Coeficiente C_p para el cálculo de las acciones externas en Naves Industriales modulares a dos aguas; Empuje y Succión para diversas zonas.	126



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes básicos de una nave industrial. Fuente: Elaboración propia.	35
Figura 2. Sección del pórtico interior de una nave industrial y sus componentes. Fuente: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/01-introduccion/1-16.html	36
Figura 3. Clasificación de las naves industriales en función de las formas básicas. Fuente: http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/01-introduccion/1-16.html	40
Figura 4. Gráfica Población vs. Software. Fuente: Elaboración propia.	47
Figura 5. Gráfica Tipo de Modelado vs. Población. Fuente: Elaboración propia.	48
Figura 6. Gráfica Tipo de Perfil vs. Población. Fuente: Elaboración propia.	49
Figura 7. Gráfica Número de Tramos vs. Población. Fuente: Elaboración propia.	50
Figura 8. Gráfica Inclinación de Cubiertas vs. Población. Fuente: Elaboración propia.	51
Figura 9. Gráfica Forma del Techo vs. Población. Fuente: Elaboración propia.	51
Figura 10. Nave simple a un agua. Entrada de datos geométricos mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.	63
Figura 11. Nave simple a un agua. Selección de los vanos arriostrados mediante el control “CheckedListBox”. Fuente: MODENAVIA.	64
Figura 12. Nave simple a un agua. Selección del tipo de perfil mediante el control “ComboBox”. Fuente: MODENAVIA.	65



Figura 13. Nave simple a un agua. Introducción de cargas sobre la estructura mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.	66
Figura 14. Nave simple a dos aguas. Entrada de datos geométricos mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.....	67
Figura 15. Nave múltiple a dos aguas. Entrada de datos geométricos mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.....	67
Figura 16. Nave simple o múltiple a dos aguas. Introducción de cargas sobre la estructura mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.	68
Figura 17. Nave simple o múltiple a dos aguas. Cálculo de la acción del viento. Fuente: MODENAVIA.....	69
Figura 18. Guardado de los datos generales de la nave en un archivo de datos con formato CSV. Fuente: MODENAVIA.....	70
Figura 19. MODENAVIA. Ventana “Crear modelo de ETABS”. Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 20. MODENAVIA. Ventana del administrador de referencias de Visual Studio 2015. Fuente: Elaboración propia.	72
Figura 21. Archivo HTML de ayuda compilado “CSi API ETABS 2015”. Fuente: Elaboración propia.....	73
Figura 22. MODENAVIA. Ventana principal. (esta imagen hay que cambiarla por una nueva donde aparece el link Acerca de)	75
Figura 23. MODENAVIA. Ventana de selección del tipo de nave.	76
Figura 24. Nave múltiple a dos aguas. Introducción de datos geométricos.	76
Figura 25. Nave múltiple a dos aguas. Selección de vanos arriostrados.	77
Figura 26. Nave múltiple a dos aguas. Selección de perfiles para los elementos estructurales.	77
Figura 27. Nave múltiple a dos aguas. Introducción de datos para el cálculo de la acción del viento.	78
Figura 28. Nave múltiple a dos aguas. Cargas sobre la estructura.	78



Figura 29. Nave múltiple a dos aguas. Guardado del archivo de datos generales.	79
Figura 30. MODENAVIA. Ventana para crear el modelo de ETABS.	80
Figura 31. MODENAVIA. Inicialización de ETABS.	81
Figura 32. MODENAVIA. Mensaje de verificación de la creación del modelo.	81
Figura 33. MODENAVIA. Mensaje de opción de realizar un análisis de prueba.	82
Figura 34. Modelo de ETABS. Vista de planta de la estructura.	83
Figura 35. Modelo de ETABS. Vista 3D de la estructura.	84
Figura 36. Modelo de ETABS. Carga permanente sobre las vigas de la cumbrera.	85
Figura 37. Modelo de ETABS. Carga variable sobre las vigas de la cumbrera.	86
Figura 38. Modelo de ETABS. Cargas de viento en dirección “X”	87
Figura 39. Modelo de ETABS. Cargas de viento en dirección “Y”	88
Figura 40. Modelo de ETABS. Vista 3D con las secciones asignadas.	89
Figura 41. Mapa de Velocidades Básicas de Viento en Venezuela. Fuente: Norma COVENIN-MINDUR 2003-89.	109



TABLA DE NOTACIONES

COVENIN-MINDUR 2003-89	Significado
A	Área tributaria., m2.
A _r	Proyección sobre un plano normal a la dirección del viento del área expuesta de las construcciones clasificadas como II y III abiertas o de sus componentes y cerramientos., m2.
A _e	Área no permeable al viento., m2.
ANSI	Instituto Nacional Americano de Normalización (" <i>American National Standard Institute</i> ").
ASCE	Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (" <i>American Society of Civil Engineers</i> ").
C _i	Coefficiente para la determinación de las acciones producidas por el viento en las construcciones clasificadas como tipo II y III abiertas.
CP	Símbolo para denotar las acciones gravitacionales permanentes en general.
C _p	Coefficiente de empuje o succión externa para la determinación de la acción producida por el viento en las construcciones clasificadas como Tipo I y III cerradas; coeficiente para el cálculo de la componente de la acción que actúa paralelamente a la dirección del viento sobre elementos de sección transversal pequeña en relación a su longitud.,
C _t	Coefficiente para el cálculo de la componente de la fuerza que actúa en dirección normal al viento sobre elementos de sección transversal pequeña en relación a su longitud.
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales
CV	Símbolo para denotar las acciones gravitacionales variables en general.
F	Fuerza para el cálculo de las acciones del viento en las construcciones clasificadas como Tipo II y III abiertas, kgf.
F _p	Componente de la fuerza que actúa paralelamente a la dirección del viento de sección transversal pequeña en relación a su longitud, kgf/m.
F _t	Componente de la fuerza que actúa en dirección normal al viento de sección transversal pequeña en relación a su longitud, kgf/m.
G	Factor de respuesta ante ráfagas.
G _h	Factor de respuesta ante ráfagas para los sistemas resistentes al viento evaluado a una altura h sobre el terreno.
G _z	Factor de respuesta ante ráfagas para componentes y cerramientos evaluados a una altura z sobre el terreno.



GC_{pe}	Coeficientes de empuje o succión externa para la determinación de las acciones producidas por el viento sobre los componentes y cerramientos de las construcciones clasificadas como Tipo I y III cerradas, representado por el producto del factor de respuesta ante ráfagas y el coeficiente de empuje o succión externa.
GC_{pi}	Coeficientes de empuje o succión interna para la determinación de las acciones producidas por el viento sobre los componentes y cerramientos de las construcciones clasificadas como Tipo I y III cerradas, representado por el producto del factor de respuesta ante ráfagas y el coeficiente de empuje o succión interna.
K_z	Coeficiente de exposición a la presión dinámica del viento evaluado a una altura z sobre el terreno.
K_h	Coeficiente de exposición a la presión dinámica del viento evaluado a una altura h sobre el terreno.
L	Dimensión horizontal de una construcción o luz de una estructura medida paralelamente a la dirección del viento. También longitud de un elemento, m.
MINDUR	Ministerio del Desarrollo Urbano.
P	Probabilidad de excedencia de la velocidad básica del viento durante un periodo de n años.
T	Periodo natural de vibración de la estructura evaluado en la dirección paralela al viento, s.
V	Velocidad básica del viento, Km/h.
V_h	Velocidad media del viento promediada durante un periodo de una hora, Km/h.
V_t	Velocidad del viento promediada durante un periodo de t segundos, Km/h.
W	Símbolo para denotar las acciones de viento en general.
a	Ancho de las franjas que se consideran para calcular las acciones del viento localizadas en los bordes, esquinas, etc. También altura del borde inferior de una valla sobre el nivel de terreno, m.
b	Dimensión horizontal de las construcciones medida en dirección normal a la del viento. También el ancho de una valla, m.
b_l	Menor dimensión en planta de una construcción, m.
b_w	Ancho de la superficie expuesta de un elemento cuando el viento incide normal al eje del elemento, m.
c	Profundidad de elementos salientes, tales como nervios o deflectores en chimeneas, tanques y estructuras similares, m.
d	Diámetro de un miembro o de una estructura de sección transversal circular. También ancho mínimo en chimeneas, tanques y estructuras similares. Altura de una valla, m.
h	Altura medida del techo en las construcciones del Tipo I, o la altura total en los otros Tipos, excepto que podrá utilizarse la altura del alero con pendiente menores a 10° , m.



h_l	Altura del alero, m.
n	Período de referencia, años.
γ	Presión para el cálculo de las acciones de viento en componentes y cerramientos, kgf/m ² .
P_h	Presión evaluada a barlovento a una altura z sobre el terreno, kgf/m ² .
P_z	Presión evaluada a sotavento a una altura h sobre el terreno, kgf/m ² .
q	Presión dinámica, kgf/m ² ;
q_h	Presión dinámica evaluada a una altura h sobre el terreno, kgf/m ² .
q_z	Presión dinámica evaluada a una altura z sobre el terreno, kgf/m ² .
w	Dimensión horizontal promedio de la construcción en la dirección normal al viento, m.
x	Distancia medida desde el borde del techo a barlovento hasta el centro de presiones de empuje o succión en los techos de construcciones abiertas de una vertiente, m.
z	Altura sobre el nivel del terreno, m.
z_o	Altura de la rugosidad en la superficie, m.
z_g	Altura del gradiente en el perfil de velocidades del viento, m.
α	Factor de importancia eólica. También ángulo auxiliar para el cálculo de las fuerzas sobre tirantes de mástiles y torres atirantadas, en grados.
α_p	Permeabilidad al viento; $\alpha_p = 1 - (A_e/A)$.
β	Factor que se utiliza en el exponente de las fórmulas para calcular K_z , δ_h y δ_z . También ángulo auxiliar para el cálculo de las fuerzas sobre tirantes de mástiles y torres atirantadas, en grados.
γ	Relación adimensional que se utiliza para el cálculo del factor resonancia ξ .
δ_1	Factor de exposición evaluado a las dos terceras partes de la altura promedio del techo de una construcción
δ_h	Factor de exposición evaluado a una altura h sobre el terreno.
δ_z	Factor de exposición evaluado a una altura z sobre el terreno.
ξ	Factor de resonancia dado en función de las relaciones γ y w/h .
θ	Ángulo que forma el plano del techo con la horizontal. También ángulo que forma la cuerda de un tirante con la horizontal, grados.
κ	Coefficiente de arrastre sobre una superficie.
λ	Factor relativo al tamaño de la construcción en función de su altura h y el Tipo de Exposición.
μ	Factor relativo de las condiciones de fricción de una superficie.
ξ	Coefficiente de amortiguamiento estructural, definido usualmente como un porcentaje del amortiguamiento crítico.
ρ	Peso volumétrico del aire; kgm/m ³ .



\emptyset	Angulo que forma la dirección del viento y la cuerda de un tirante de un mástil o de una torre atirantada; grados.
\emptyset_1	Angulo que forma la dirección del viento y el plano del techo de una construcción abierta de una vertiente; grados.
ψ	Factor relativo al perfil de presiones dado como función de la relación adimensional γ .
[]	Referencia bibliográfica.

Principales Subíndices.	Significado.
f	Aplica al área y a los coeficientes para el cálculo de las fuerzas por efecto del viento en las construcciones clasificadas como Tipo II y III abiertas.
h	Se refiere a la altura medida del techo, considerada constante para el cálculo de las acciones por los efectos del viento.
p	Corresponde a los coeficientes de empuje o de succión externa.
p_i	Corresponde a los coeficientes de empuje o de succión interna.
z	Se refiere a la altura medida en el lado a barlovento, considerada variable para el cálculo de las acciones por efectos del viento en un punto específico.



LISTA DE UNIDADES

Las unidades empleadas en este proyecto de investigación corresponden al Sistema Técnico MKS, metro – kilogramo fuerza – segundo, a menos que se indique específicamente de otra manera.

- ✓ Dimensiones en cm o m.
- ✓ Áreas en m^2
- ✓ Fuerzas en kgf.
- ✓ Momentos en m-kgf.
- ✓ Esfuerzos (Tensiones) en kgf/cm^2 .



INTRODUCCIÓN

Los ingenieros pueden utilizar Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) para crear sus propias herramientas de parametrización e integración con uno o varios softwares, que no poseen conexión entre sí de forma directa, o agregar características específicas que el usuario necesite. Estas herramientas pueden automatizar tareas repetitivas, eliminando los errores por parte del usuario y aumentando la eficacia del trabajo. Se pueden crear plantillas para los componentes estructurales utilizados con más frecuencia, con la API es sencillo construir una interfaz para posibilitar la definición paramétrica de los antes citados. Existe también la posibilidad de automatizar y configurar varias definiciones, o también crear algoritmos personalizados para implementación de comprobaciones de proyecto más específicas.

Para implementar el uso de la API se seleccionó el Modelado de Naves Industriales. Estas tienen como característica principal ser estructuras amplias, livianas y de fácil construcción; destinadas a depósitos, áreas libres de trabajo, entre otros. Es común que su diseño estructural se realice con perfiles de acero por representar grandes ventajas en muchos aspectos. Para tal diseño, existen numerosos softwares de cálculo estructural que permiten crear un modelo matemático por medio de la entrada de datos por parte del usuario.

Para modelar una nave industrial es necesario realizar tareas muy repetitivas. Algunos softwares poseen una herramienta específica para introducir esta información de forma parametrizada. Un ejemplo de ello es el Generador de Pórticos de CYPE 3D. En Venezuela hay preferencia de uso por otros que no poseen esta ventaja, entre ellos ETABS de la compañía americana CSI. Sin embargo, este software cuenta con una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) con la cual los programadores pueden



complementar sus softwares con las funcionalidades de análisis y dimensionamiento de estructuras con los programas CSI. Es posible establecer la conexión bidireccional, creando un acceso directo, rápido y eficiente a todos los métodos numéricos avanzados implementados.

En este trabajo se presenta el desarrollo del complemento MODENAVIA (Modelado De Naves Industriales Automatizado), implementando el uso de la API de ETABS 2015 con el lenguaje de programación Visual Basic.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

En la etapa inicial del diseño estructural de naves industriales, se define el tipo de nave a utilizar y se estiman las acciones permanentes, variables y accidentales que van a actuar sobre la estructura durante su vida útil. Una vez desarrolladas estas actividades, se procede a predimensionar los miembros estructurales y a elaborar un modelo matemático en un software, que permita realizar el análisis estructural. La experiencia de los ingenieros estructurales indica que las actividades mencionadas ocupan al menos un 30 % del tiempo que requiere llevar a cabo todo el diseño de la estructura. Por lo tanto, la flexibilidad, la precisión y la eficiencia en el modelado son aspectos fundamentales para llegar a un eficiente proceso de análisis y diseño. Un error cometido durante el modelado, podría ocasionar un retraso significativo no contemplado en el proyecto.

Con relación a los programas de cálculo estructural que se utilizan en Venezuela, **Campagnolo y De Cristofaro (2011)** sostienen que:

Hoy día, los programas que existen en Venezuela para el cálculo estructural, no están enfocados única y exclusivamente en el diseño de naves industriales (requieren un considerable esfuerzo para su configuración y adaptación a las necesidades de los distintos usuarios) e inclusive se rigen bajo normas Americanas o Europeas que en muchos casos nada tiene que ver con las exigencias dentro de nuestra región.

Los profesionales y estudiantes de la ingeniería civil en nuestro país han mostrado preferencia en gran parte por los softwares de la compañía



americana CSI, específicamente ETABS Y SAP2000. Ambos están en la capacidad de modelar, analizar y diseñar estructuras metálicas. ETABS, cuyas siglas en español significan “Programa de Análisis Tridimensional Extendido y Diseño de Edificaciones”, es ideal para el análisis y diseño de edificios y naves industriales. De allí surge la preferencia de los usuarios venezolanos por este software. Sin embargo, en ETABS no se han incluido funciones que permitan automatizar el proceso de modelado de naves industriales, además de no tener disponible la Norma Venezolana 2003-89 Acciones del Viento sobre las Construcciones.

ETABS también cuenta con la interfaz de programación de aplicaciones API, del inglés *Application Programming Interface*, cuya función es definida por el sitio web de la compañía CSI en España <http://www.csiespana.com>, (2016) de la manera siguiente:

A través de conocimientos básicos de programación, es posible crear pre y pos procesadores para diferentes aplicaciones, plugins, u otras herramientas que permiten conectar con el software CSI. API es compatible con la mayoría de los lenguajes de programación, incluyendo Visual Basic for Applications (VBA), VB.NET, C #, C ++, Visual Fortran, Python y Matlab.

Además, en el mismo sitio web se explica que API presenta la posibilidad de “*crear plugins específicos a los que se pueda acceder a partir del software CSI, permitiendo a los usuarios personalizar un conjunto de herramientas adicionales, además de las existentes en los programas*”.

En este orden de ideas, y en la búsqueda de crear un complemento que permita en una forma sencilla y eficiente de modelar naves industriales con ETABS, surgen las siguientes interrogantes:

¿Es posible parametrizar los datos generales del modelo estructural de las naves industriales?



¿Cuáles serían las funciones a realizar por el complemento para el modelado de naves industriales con software especializado?

¿De qué forma puede el usuario introducir los datos generales para el modelado de naves industriales con software especializado?

¿Cómo puede generarse el modelo estructural de naves industriales utilizando la Interfaz de programación de aplicaciones (API) de ETABS?

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar un complemento para el proceso de modelado de naves industriales con software especializado.

1.2.2 Objetivos Específicos

- I. Realizar la definición paramétrica de los componentes del modelo estructural de las naves industriales.
- II. Elaborar los diagramas de flujo de las funciones a realizar por el complemento para el modelado de naves industriales con software especializado.
- III. Diseñar una interfaz que permita al usuario introducir los datos generales para el modelado de naves industriales con software especializado.



- IV. Programar la generación del modelo estructural de naves industriales utilizando la Interfaz de programación de aplicaciones (API) de ETABS.



1.3 Justificación

Para los Ingenieros Estructurales, el tiempo que requiere la concepción de un proyecto debe ser el menor posible. El hecho de poder introducir de manera eficiente la geometría de una estructura en el software de análisis y diseño estructural, así como las acciones que actúan sobre ella; crea para el usuario la posibilidad de realizar con mayor rapidez el resto de las actividades que lleva consigo el desarrollo de un proyecto. Estas actividades suelen ser repetitivas y tediosas dando la posibilidad de cometer errores. Algunas veces, los programas están limitados en el desarrollo de actividades específicas o no están ajustadas a normativas locales de diseño.

Con el desarrollo de este complemento, se estaría dando a conocer el uso de la interfaz de programación de aplicaciones (API) y la ventaja que representaría para los ingenieros estructurales personalizar sus actividades dentro de un software de cálculo, y optimizando el proceso de diseño, además de obtener como resultado una aplicación capaz de ayudar y optimizar el modelado de naves industriales con ETABS.

1.4 Alcance.

El presente trabajo de grado ha sido desarrollado y dirigido, para estudiantes y profesionales de la rama de la Ingeniería Civil en Venezuela que quieran conocer el uso de la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) como una herramienta que permite complementar cualquier software abierto a colaboradores.



Para el desarrollo del complemento, se hará el diseño de una interfaz gráfica realizado bajo el sistema operativo de Windows, permitiendo interactuar con el software ETABS, mediante la API.

En este trabajo se limitan las posibles opciones geométricas de una nave industrial a las más utilizadas actualmente en Venezuela, como los son las naves industriales en acero, de geometría común, fachada cerrada, techos planos, sin elementos mixtos como las mezzaninas. No se contempla el modelado de las correas.

El complemento desarrollado en este trabajo de grado es un software de uso libre no comercial.

1.5 Limitaciones

El desarrollo del complemento se adapta a las condiciones de una licencia educacional de CSI para trabajar con la API. Además, sólo podrá generar el modelo estructural para la versión 2015 de ETABS.

Adicionalmente se cuenta con un tiempo reducido para el desarrollo de este trabajo de grado, tomando en cuenta que la programación incluye procesos minuciosos para llegar a resultados satisfactorios.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Canchari. Interfaz de Programación para Aplicaciones del SAP2000 y Visual C# fundamentado en MathCad. **Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (Perú), 2009.**

En relación al uso de la Interfaz de Programación para Aplicaciones (API), el autor Canchari (2009) en su Tesis de Grado “Interfaz de Programación para Aplicaciones del SAP2000 y Visual C# fundamentado en MathCad” para optar al título de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga (Perú), lleva a cabo un importante aporte al tener como objetivo principal mostrar la utilidad de la API de SAP2000 implementando un módulo para el análisis automatizado de un tipo de estructura, que por defecto el software no dispone entre sus opciones. SAP2000 al igual que ETABS son productos de la Compañía Americana CSI y sus códigos fuente son básicamente los mismos, por lo tanto, los métodos, funciones, variables y demás componentes de la API de ambos softwares son los mismos en cuanto a herramientas de dibujo y edición.

Campagnolo A.; Bruno A. y De Cristofaro S. Nicol. Desarrollo de un Programa para el Diseño Estructural de Naves Industriales. **Universidad de Carabobo, 2011.**

Los autores Campagnolo y De Cristofaro en el año 2011 elaboraron el Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Ingeniero Civil en la



Universidad de Carabobo, titulado “Desarrollo de un Programa para el Diseño Estructural de Naves Industriales”, en el cual a través de la interfaz de Microsoft Excel y utilizando el lenguaje Visual Basic, programaron el diseño de un tipo de nave industrial considerando tres tipos de carga: permanente, variable y de acción del viento (tomando en cuenta la Norma Venezolana 2003-89 *Acciones del Viento sobre las Construcciones*). Como resultado obtuvieron una hoja de cálculo habilitada con macros, donde el usuario puede introducir los datos geométricos de la nave y las cargas que actúan sobre ella, consiguiendo luego la respuesta de la estructura y el diseño de los miembros que la componen. La forma en la que abordaron la entrada de datos geométricos y el uso de la norma mencionada para las acciones del viento, son aportes que se consideran fundamentales para este trabajo.

Ligas S. y Younes J. Programa para el Diseño de Conexiones Sismo-resistente en Estructuras Metálicas. **Universidad de Carabobo, 2011.**

En el campo de la programación se halló el Trabajo Especial de Grado titulado “Programa para el Diseño de Conexiones Sismo-resistente en Estructuras Metálicas”, defendido por los autores Ligas y Younes en el año 2011 para optar al Título de Ingeniero Civil en la Universidad de Carabobo. El programa se desarrolló con el lenguaje Visual Basic.Net mediante el compilador de Microsoft Visual Studio 2008, y aunque la función principal de éste no guarde relación directa con naves industriales, representa una guía bastante detallada para las etapas de programación (definición de interfaz, definición de controles, definición de eventos y generación del código). Además, presentan gran parte del algoritmo organizado en diagramas de flujo de forma clara y concisa. Con la adaptación del código del programa desarrollado en este trabajo es posible crear un enlace a través de la API para extraer las solicitudes del modelo de ETABS y realizar el diseño de las conexiones metálicas.



García, Sorto y Villalobos. Manual de diseño de Naves Industriales Metálicas utilizando un Software Especializado. **Universidad de Carabobo, 2009.**

Por otro lado, García, Sorto y Villalobos en el año 2009 presentaron el Trabajo de Graduación previo a la opción de grado de Ingeniero Civil en la Universidad de El Salvador (El Salvador), titulado “Manual de diseño de Naves Industriales Metálicas utilizando un Software Especializado”, donde se obtuvo como resultado un manual de diseño estructural y el software especializado al cual se refieren es ETABS. También elaboraron una guía para el uso del software, explicando paso a paso cómo se modela la estructura y cómo se asignan las cargas. Esto sirve como una introducción a los comandos del software que deben utilizarse en la programación del módulo que automatizará el proceso de modelado.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Interfaz de Programación de Aplicaciones, API.

*“Una API (siglas de ‘Application Programming Interface’), lo que en español significa Interfaz de Programación de Aplicaciones, son **un conjunto de reglas (código) y especificaciones que las aplicaciones pueden seguir para comunicarse entre ellas:** sirviendo de interfaz entre programas diferentes de la misma manera en que la interfaz de usuario facilita la interacción humano-software.”* **Marcos Merino, (2014)**

Las API se presentan generalmente en la forma de bibliotecas de enlace dinámico (DLL) que contienen métodos o procedimientos. Para comprender el uso de la API de un software que hace uso de elementos gráficos, es necesario tener conocimientos básicos de la programación orientada a objetos.



En resumen, este tipo de programación utiliza objetos como elementos fundamentales en la construcción de la solución. Un objeto es una abstracción de algún hecho o ente del mundo real, con atributos que representan sus características o propiedades, y métodos que emulan su comportamiento o actividad.

Las API simplifican en gran medida el trabajo de un creador de programas, ya que no tiene que “escribir” códigos desde cero. Estas permiten al programador usar métodos, funciones predefinidas o de estructuras ya existentes en otros complementos, para interactuar con el sistema operativo o con otro programa. Durante el intercambio de datos mediante la API el usuario no observa directamente el proceso de trabajo, pero sí detalles de sus acciones.

En otras palabras, la API permite crear, modificar el entorno y las actividades que realiza el usuario en el software de su preferencia, adaptarlo a las necesidades que se tengan.

2.2.2 Naves Industriales

Según, **Ing. Eduardo Arnal (2010)** se definen naves industriales como:

Se conoce con el nombre de Naves Industriales al lugar conformado por una estructura metálica, de concreto armado, o mixta donde se desarrollan actividades que pueden pertenecer al sector: Productivo, Logístico, Almacenamiento, Mixto o de cualquier otro tipo de industria. Se le otorga este nombre porque el techo del galpón tiene forma de “v”, como una nave.

Las naves industriales conocidas de esta manera a nivel internacional también en Venezuela como galpones, son estructuras diseñadas con la



capacidad de contener dentro las instalaciones y los materiales que en ella se dispongan, previendo en su diseño siempre posibles ampliaciones durante el proceso productivo varían en función de las distintas actividades económicas que se puedan desarrollar en su interior tales como actividades industriales de producción, manufactura, ensamble, procesos industriales, almacenaje y distribución, para su construcción predomina el uso de materiales metálicos, anteriormente se trabajaba con concreto armado dichas estructuras, pero por criterios de comodidad constructiva durante el montaje, economía, materiales, rapidez y versatilidad, el acero se consideró el material ideal para su elaboración, ya que las características principales de las naves industriales es que son estructuras de baja altura, luces con gran amplitud tanto en sentido longitudinal como en sentido transversal, generalmente mantienen un regularidad en planta, su construcción destaca un corto periodo de montaje, lo cual hace aún más favorable el empleo de elementos metálicos, haciendo el proceso constructivo más corto en comparación con el concreto armado o en madera.

Los elementos que conforman una nave industrial, varían en función de las características constructivas, exigencias arquitectónicas, materiales disponibles y funcionalidad, tal como se muestra en la

Figura 1 y la Figura 2. En general, una estructura básica de la nave está compuesta por:

- Sistema de fundación.



- Columnas.
- Vigas perimetrales.
- Pórtico interior.
- Cerchas.
- Correas.
- Cubiertas metálicas (techos).
- Cerramientos.
- Arrostramientos laterales.

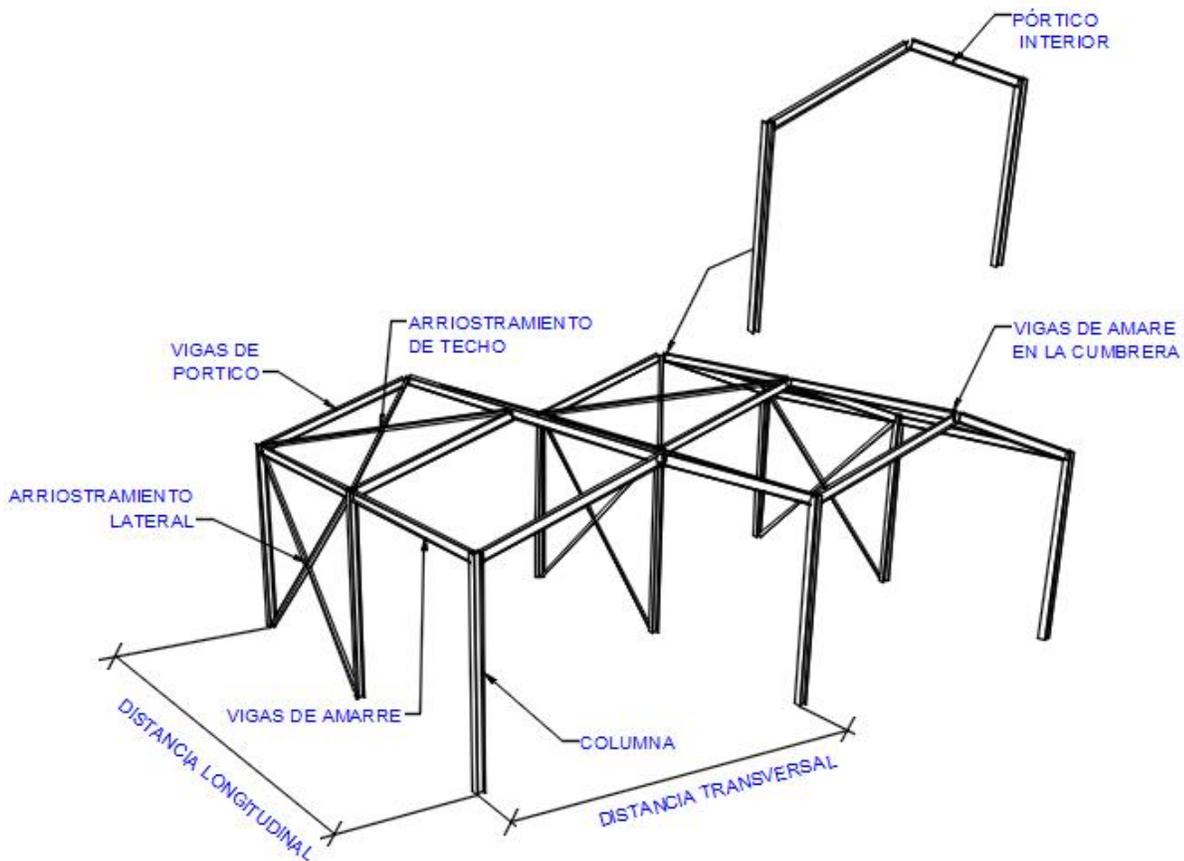


Figura 1. Componentes básicos de una nave industrial. Fuente: Elaboración propia.



electricidad, que a mayor altura de la nave serán de mayor potencia y viceversa.

4. Elementos Constructivos internos de la Nave: Para casos de un entresuelo, mezzanina, se deberá considerar la altura útil para que en la misma se pueda trabajar en condiciones de salubridad y sin agobios del tipo claustrofóbicos, siendo esta al menos de 2,70 m o más en función del área a cubrir y el uso. Siempre en busca de que en su interior se logre operar sin obstáculos ni restricciones, trabajando con mucha versatilidad.

5. Pendientes de las Cubiertas de techo: Mientras más pendiente tenga una cubierta mejor suele trabajar la estructura, porque es más abovedada se tendrán menos problemas de goteras, ya que esta escurrirá más fácilmente y no se detendrá tanto. Por otra parte, mientras menos pendiente tenga menos sensible será a las acciones eólicas, siendo esto de gran ventaja, de esta forma es habitual considerar pendientes del 5 al 10% en estructuras de sección variable y de concreto armado y del 20% en estructuras convencionales.

6. Costo: Varía en función de la altura y dimensiones de la estructura, ya que, por las exigencias de la misma como incremento de la longitud, carga, condiciones ambientales, podrá requerir elementos tipo columna o viga de mayores dimensiones lo cual varía proporcionalmente con el costo de la estructura.



2.2.3 Tipos de Naves Industriales:

La clasificación de las naves industriales de manera generalizada se divide en (2) según:

- Tipo de material.
- Geometría y componentes.

2.2.2.1 *Tipo de material*

Independientemente de la aplicación que se les vaya a asignar, los tipos de naves industriales se clasifican de acuerdo a los materiales utilizados en la construcción de su estructura en:

- Naves de Acero.
- Naves de concreto prefabricado.
- Naves de concreto "In situ".
- Naves mixtas.
- Naves de Acero

Las naves con estructuras metálicas tienen la ventaja de que permiten una construcción rápida y al mismo tiempo obtener espacios iluminados más grandes, sin la necesidad de montar columnas dentro del inmueble.

- Naves de concreto prefabricado

Las naves de concreto prefabricado son fáciles y rápidas de armar, pues prácticamente sólo se tiene que conectar las piezas, sin embargo,



en cuanto a iluminación se encuentran en desventaja, pues no llegan a ser muy altas.

- Naves de concreto “In situ”

Las naves de concreto “in situ”, aunque son las más económicas, estas construcciones industriales están por desaparecer ya que los tiempos de ejecución son largos y presentan carencias en la iluminación. Su única ventaja es que la nave se puede realizar en forma de edificio, pudiendo tener varias subestructuras dentro de la planta.

- Naves mixtas

Las naves mixtas tienen combinan estructuras de acero y concreto para realizar geometrías especiales en el inmueble. Una de las ventajas que tiene sobre las construcciones normales de estructuras de concreto y acero, es el ahorro en costes de materiales, pues durante el montaje se pueden realizar procesos conocidos como pretensado y postensado, que consisten en generar esfuerzos permanentes en la estructura de manera intencionada para mejorar su desempeño.

2.2.2.2 Geometría y componentes

Según las características geométricas y componentes podemos clasificar las naves industriales de manera general como se muestra en Figura 3. Existiendo sub-clasificaciones internas para cada una.

Debido a que dicha clasificación es en función de la geometría de la estructura y componentes, realmente está limitada por los aspectos constructivos ya que existen muchas más formas y sub-clasificaciones, siendo estas las formas básicas de las cuales se derivan otras, siempre dejando a libre albedrío la escogencia y diseño al ingeniero proyectista, el arquitecto y el propietario de la obra.

Número de tramos	Techo		Estructura		
	Inclinación	Forma	Pórticos	Forma	
 Simple	 A dos aguas	 Plana	 Perfiles laminados soldados, compuestos	 Sección constante	
 Simple con anexo	 A una agua	 Arco		 Sección variable	
 Múltiples		 Circular	 Atirantado	 Triangular	
		 Diente de sierra		 Celosía Warren	 Trapezoidal
				 Celosía Pratt	 Arco
				 Circular	

Figura 3. Clasificación de las naves industriales en función de las formas básicas.

Fuente: <http://webdelprofesor.ula.ve/nucleotrujillo/americanab/01-introduccion/1-16.html>.

2.3 Acciones mínimas e hipótesis de solicitaciones

Se entiende por acciones los fenómenos que producen cambios en el estado de tensiones y deformaciones en los elementos de una edificación, como las cargas, los efectos de asentamiento, los efectos de temperatura y reología, etc.



Las acciones aquí definidas son las mínimas de utilización o servicio aplicables, tanto en la teoría clásica como en la teoría de los estados límites como lo establecen las normas vigentes para el proyecto de edificaciones de concreto, acero, madera, mampostería, y de cualquier otro material estructural.

Para la aplicación de las hipótesis de solicitaciones o también llamadas combinaciones de cargas, en la Norma Venezolana COVENIN 2002-88, se clasifican las acciones en función de la variación de su intensidad máxima en el tiempo:

- Acciones permanentes (CP)

Son las que actúan continuamente sobre la edificación y cuya magnitud puede considerarse invariable en el tiempo, como las cargas debidas al peso propio de los componentes estructurales, y no estructurales: pavimentos, rellenos, frisos, paredes, tabiques, instalaciones fijas, etc. igualmente los empujes estáticos de líquidos y tierras permanentes, deformaciones y desplazamientos impuestos por efectos de pretensión, las acciones reológicas y de temperatura permanentes, etc.

- Acciones variables (CV)

Son aquellas que actúan en la edificación con una magnitud variable en el tiempo y que se deben a su ocupación y uso habitual, como aquellas generada por personas, vehículos, ascensores, maquinarias, grúas móviles, etc., así como las acciones por empujes de líquidos y tierras que tengan un carácter variable, las acciones variables reológicas y de temperatura.



- Acciones accidentales (W, S)

Son acciones que en la vida útil de la edificación tienen una pequeña probabilidad de ocurrencia solo durante lapsos breves de tiempo, este tipo de acciones son, acciones debido al sismo (S), acciones de viento (W), etc.

- Acciones extraordinarias

Son las acciones que normalmente no se consideran entre las que actúan en la vida útil de una edificación y que, sin embargo, pueden presentarse en casos excepcionales y causar catástrofes, como acciones debido a explosiones, incendios, etc.

Según la norma venezolana COVENIN 1618-98, “Estructuras De Acero Para Edificaciones: Método De Los Estados Limites”, se encuentran definidas en el capítulo 10, las combinaciones de diseño como se indican a continuación; en algunas estructuras para uso industrial es necesario especificar adicionalmente, hipótesis de solicitaciones durante el montaje, la prueba de los equipos, y las condiciones particulares de operación. Tomando en cuenta que las solicitaciones mayoradas sobre la estructura, sus miembros juntas y conexiones, así como su sistema de fundación se determinaran de la hipótesis de solicitaciones que produzca el efecto más desfavorable.

Tabla 1. Hipótesis de solicitaciones para el estado límite de agotamiento resistente.

Hipótesis de Solicitaciones	Ecuación
1,4 CP	1
1,2 CP + 1,6 CV	2
1,2 CP + 0,5 CV + 1,3 W	3
1,2 CP + 1,6 CVt + (0,5 CV o 0,8 W)	4
0,9 CP + 1,3 W	5

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010) en la quinta edición de su publicación *Metodología de la Investigación*, la investigación descriptiva “Busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población”. Además, estos autores explican que los estudios descriptivos “únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren (...) su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.”

En este orden de ideas, este trabajo inicia como una investigación descriptiva donde se describen las características del modelado de naves industriales y se busca automatizar este proceso con el uso de la Interfaz de Aplicación de Programaciones (API) de ETABS.

3.2 Diseño de la Investigación

Este proyecto comprende una investigación no experimental, definida por los autores Hernández, **Fernández y Baptista (2010)** como:

La investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.



3.3 Fases de la investigación

3.3.1 Recolección de Datos

Comprendida principalmente por la revisión bibliográfica realizada en el capítulo anterior donde se consultaron investigaciones antecedentes a la presente y un marco normativo legal. Adicionalmente se llevó a cabo una encuesta de tipo cerrada, que según **Valarino, Yáber y Cemborain (2010)**: “Se utiliza para conocer características de un conjunto o grupo de personas en una determinada situación”.

La información correspondiente a la encuesta se presentó con el fin de obtener un estudio tangible con datos reales de los ingenieros proyectistas, para determinar la tendencia de los softwares más usados en Venezuela para el cálculo de naves industriales, y los procedimientos de calculo que se realizan comúnmente para el desarrollo de las mismas.

Se llevó a cabo una encuesta a través de una de las aplicaciones que brinda Google, llamada Google Forms, con la cual se realizó el siguiente formulario a los encuestados, se realizaron campos de selección múltiple con la posibilidad de hacer escogencia de varias respuestas a la vez, por pregunta:



Tabla 2. Formato de encuesta aplicada.

Encuesta	
Nombre y Apellido:	
Correo Electrónica:	
1) ¿Cuál software utiliza con mayor frecuencia para el cálculo de naves industriales?	
a) ETABS b) SAP2000 c) CYPE 3D d) STAAD PRO e) ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS f) OTRO	
2) ¿De qué forma realiza el modelado de naves industriales?	
a) Manual b) Automática (implica el uso de una herramienta especial del software para generar pórticos y asignar cargas) c) OTRO	
3) ¿Qué tipos de perfiles utiliza con mayor frecuencia?	
a) Tubulares b) Electrosoldados c) Laminados d) Todas las Anteriores	
4) Número de tramos	
a) Simple b) Doble c) Múltiple d) Todas las Anteriores	
5) Inclinación de la Cubierta	
a) A un agua b) A dos aguas c) Todas la anteriores	



6) Forma del Techo	
a) Plana b) Circular c) Diente de Sierra d) Todas las Anteriores	
7) Tipo de Pórtico	
a) Simple con sección constante b) Simple con sección variable c) Celosía Warren d) Celosía Pratt e) Atirantado Triangular f) OTRO	
Escriba su ciudad de residencia (OPCIONAL):	
Si desea que esta encuesta llegue a otro(a) colega, escriba la dirección de correo electrónico:	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos fueron exportados por otra aplicación perteneciente a Google, llamada Google sheets, a través del cual se recopiló toda la información obtenida de dicha encuesta y los resultados obtenidos, en el orden presentados en la encuesta, fueron:

- En respuesta a ¿Cuál software utiliza con mayor frecuencia para el cálculo de naves industriales?, el resultado obtenido es el mostrado en la Figura 5 de “Gráfica Población Vs. Software”, el cual arrojó como software de preferencia por mayor cantidad de usuarios al software de cálculo de estructuras ETABS, proveniente de la compañía CSI.

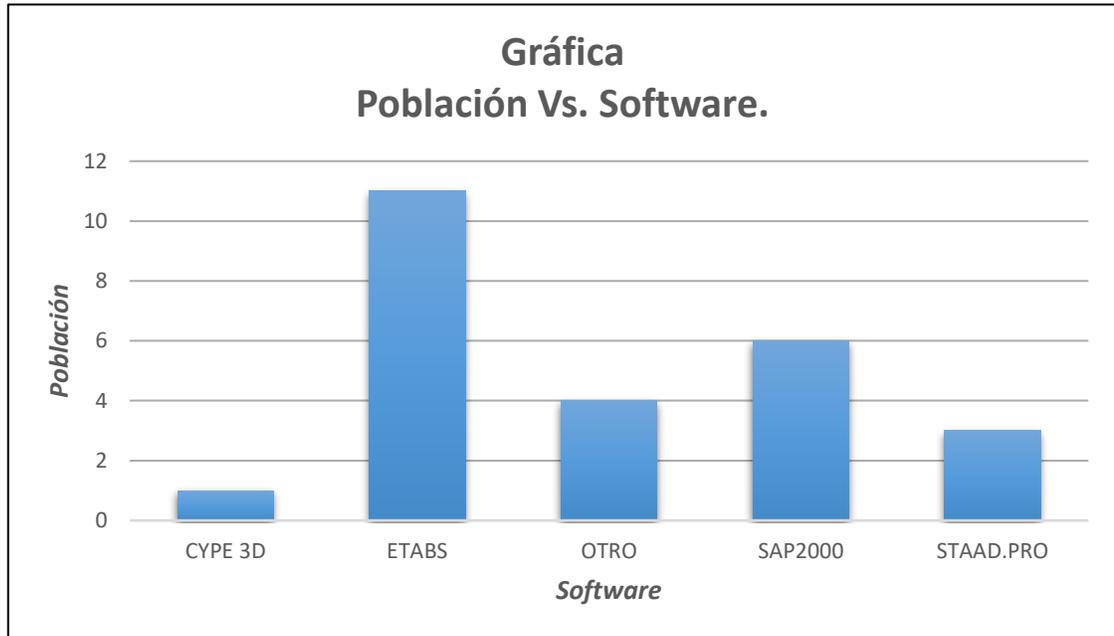


Figura 4. **Gráfica Población vs. Software.** Fuente: Elaboración propia.

-
- En respuesta a ¿De qué forma realiza el modelado de naves industriales?, el resultado obtenido es el mostrado en la Figura 6 de “Gráfica Tipo de Modelado Vs. Población”, donde se observa que la mayoría de los encuestados realiza el proceso de modelado de forma manual.

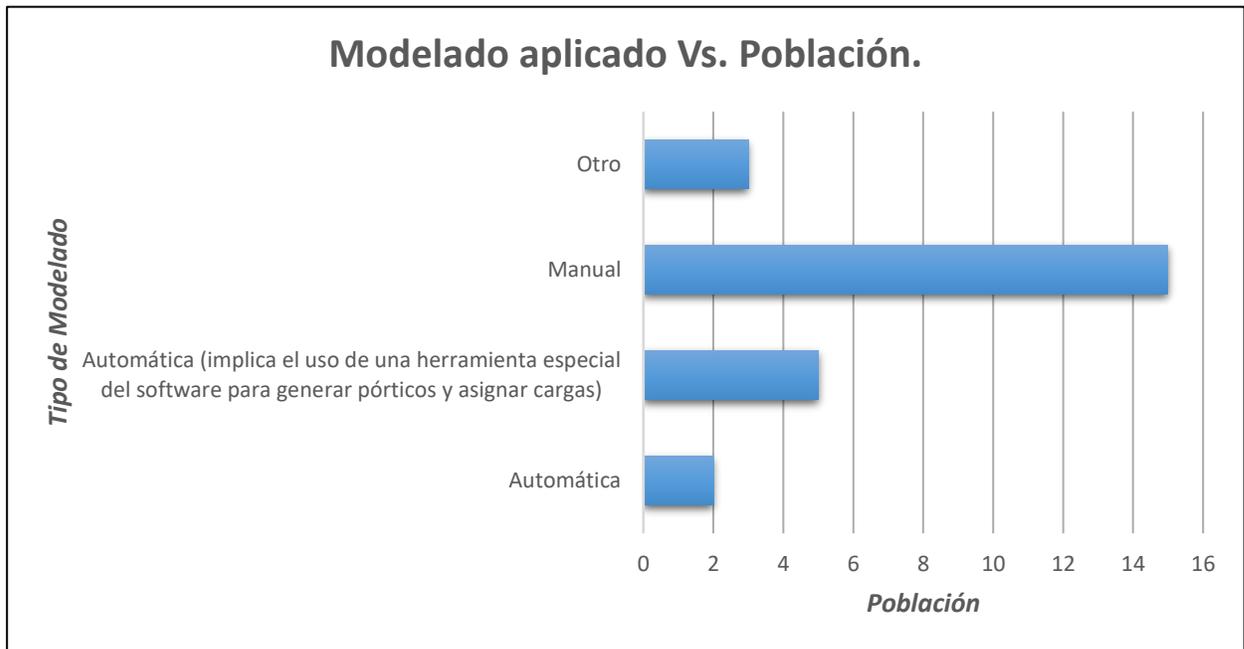


Figura 5. **Gráfica Tipo de Modelado vs. Población.** Fuente: Elaboración propia.

- En respuesta a ¿Qué tipos de perfiles utiliza con mayor frecuencia? el resultado obtenido es el mostrado en la Figura 7 de “Gráfica Tipo de Perfil Vs. Población”, siendo la perfilaría de mayor frecuencia los perfiles laminados.

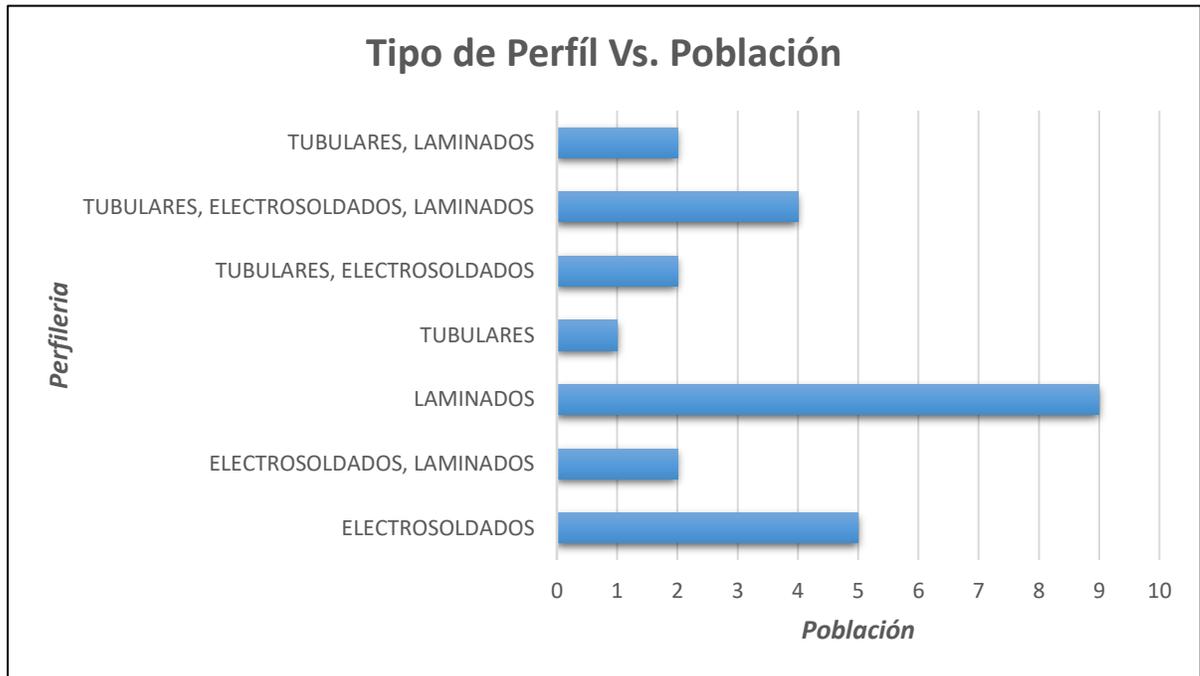


Figura 6. **Gráfica Tipo de Perfil vs. Población.** Fuente: Elaboración propia.

- En respuesta a ¿Número de Tramos? el resultado obtenido es el mostrado en la Figura 8 de “Gráfica Número de Tramos Vs. Población”, se obtuvo que la preferencia por los proyectistas es de realizar naves industriales simples.

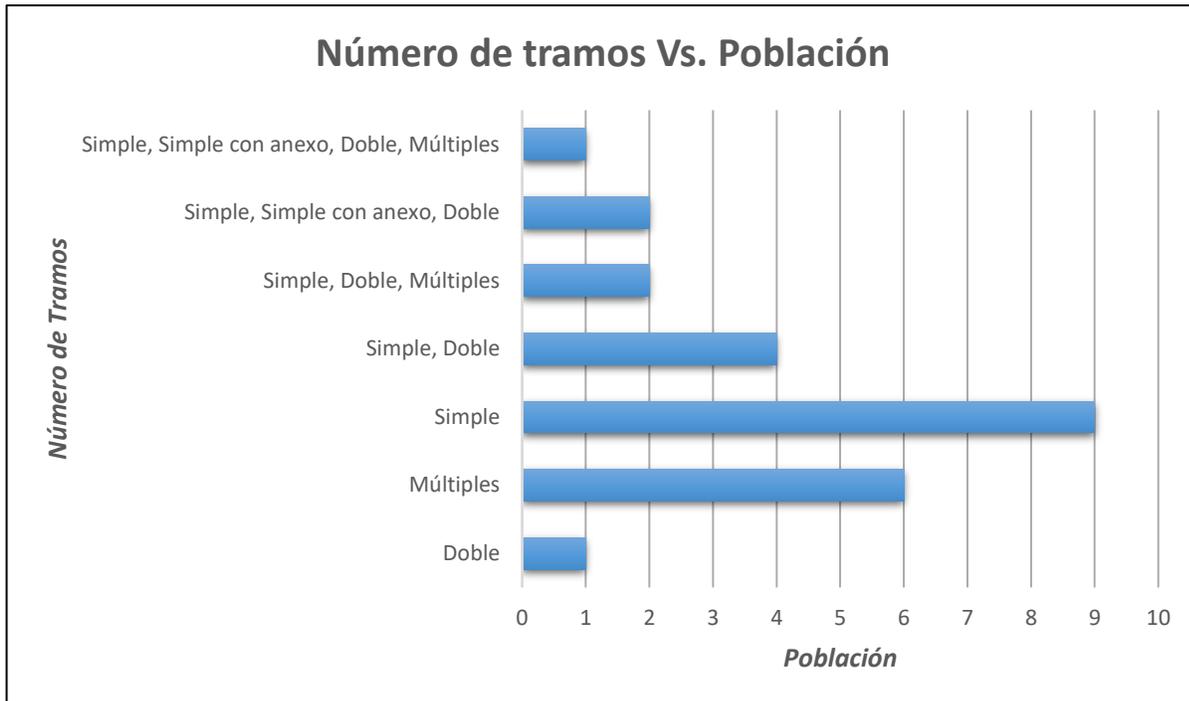


Figura 7. **Gráfica Número de Tramos vs. Población.** Fuente: Elaboración propia.

- En respuesta a ¿Inclinaciones de Cubierta? el resultado obtenido es el mostrado en la Figura 9 de “Gráfica Inclinación de Cubierta Vs. Población”, la población en estudio dio como selección a más votado a cubiertas inclinadas a dos aguas.
- En respuesta a ¿Forma del Techo? el resultado obtenido es el mostrado en la Figura 10 de “Forma del Techo Vs. Población”, la población en estudio dio como selección a más votado a techos planos.

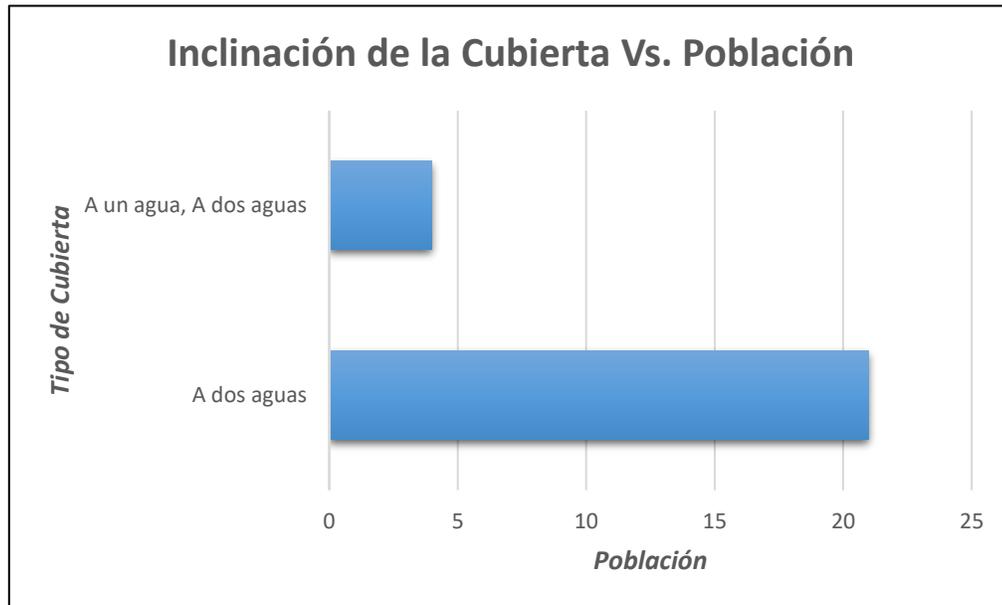


Figura 8. Gráfica Inclinación de Cubiertas vs. Población. Fuente: Elaboración propia.

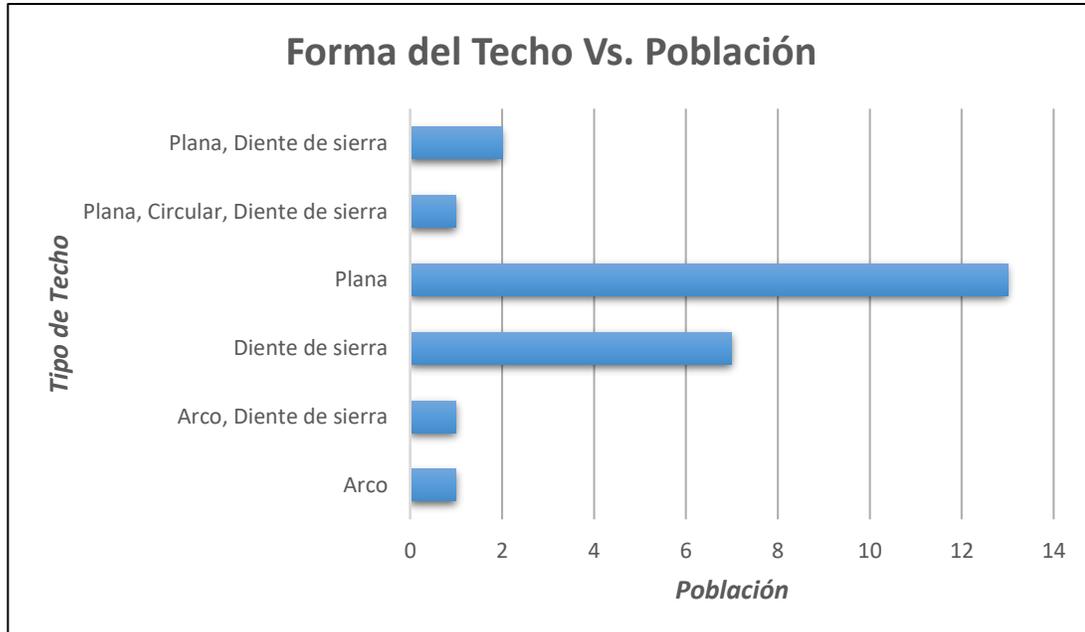


Figura 9. Gráfica Forma del Techo vs. Población. Fuente: Elaboración propia.



- En respuesta a ¿Tipo de Pórtico? el resultado obtenido es variable en función a la preferencia de los ingenieros proyectistas, ya que, los resultados fue una selección variada donde la mayoría cubre todos los tipos de pórticos planteados dentro del contenido de la encuesta como selección múltiple. Es por esto que el resultado no se presenta de forma gráfica.

3.3.2 Procesamiento de Datos

En función a los objetivos, se tiene la siguiente planificación:

- I. Realizar la definición paramétrica de los componentes del modelo estructural de las naves industriales. Esto se logra a partir de los resultados de la encuesta ejecutada. La parametrización es un mecanismo muy útil que permite aplicar el mismo algoritmo a tipos de datos diferentes. En este caso se realiza este proceso a los tipos de naves que se escojan según los resultados de la encuesta, los perfiles y las condiciones de las cargas que se van a asignar, entre otros.
- II. Elaborar los diagramas de flujo de las funciones a realizar por el complemento para el modelado de naves industriales con software especializado. Con base en los datos requeridos para elaborar el modelo estructural, se logra conocer cuáles son las funciones que debe desempeñar el complemento y se definen los subprocesos.
- III. Diseñar una interfaz que permita al usuario introducir los datos generales para el modelado de naves industriales con software especializado. Utilizando la información obtenida al cumplir los objetivos anteriores, se procede a elaborar la interfaz de interacción con el usuario, donde cada una de sus partes comprenderá las herramientas



necesarias para recibir los datos de las variables involucradas en el proceso de modelado.

- IV. Programar la generación del modelo estructural de naves industriales utilizando la Interfaz de programación de aplicaciones (API) de ETABS. Se carga en el programa la referencia a la API para tener acceso a los métodos que permitirán realizar el modelado.

3.3.3 Obtención de Resultados

La aplicación se desarrolla mediante la utilización del lenguaje de programación Visual Basic, con el compilador de Visual Studio 2015, esto es debido a que el lenguaje de programación es de uso sencillo, y el editor proporciona herramientas fáciles de manejar para el desarrollo del programa. Una parte estará compuesta por código y la otra por herramientas para crear la interfaz gráfica del programa a través de la programación de objetos.

Para lograr un desarrollo exitoso, se definen varias etapas en la construcción de la aplicación, con la finalidad de llevar un orden de acciones para lograr el objetivo final, estas etapas son:

- Definición de interfaz: En esta etapa, se definirá el entorno mediante el cual ocurrirá la interacción usuario–programa, este entorno funcionará a su vez de base para añadir los controles necesarios para la interacción.
- Definición de Controles: Una vez definido el entorno, se procede a añadir los controles que serán utilizados por el usuario, y definir sus propiedades, estas serían tales como, tamaño, color, letra, entre otras.



- Definición de eventos: Se define como reaccionara el objeto al ser afectado por el usuario, esto puede ser al momento del usuario hacer click o cambiar el valor del control entre otros.
- Generación del código del programa: Esta sería la etapa final, en ella se procederá a generar todas las líneas de código necesarias para que el programa pueda ser ejecutado exitosamente, utilizando los datos suministrados por el usuario y la interfaz de programación de aplicaciones (API) para crear el modelo estructural en ETABS.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.

4.1 Diagramas de Flujo

Los siguientes diagramas describen las funciones principales del complemento, desde la etapa de inicio hasta el cierre del mismo, se divide en dos ramas principales Nave y Modelo, dichos diagramas se presentan desglosados para poder observar en detallado los subprocesos que contemplan cada uno. Con esto se intenta explicar de manera sencilla las opciones y variantes que ofrece MODENAVIA (Modelado de Naves Industriales Automatizado). Incluyendo el diagrama para las cargas de viento con los pasos correspondientes desglosados hasta obtener la carga por metro lineal.

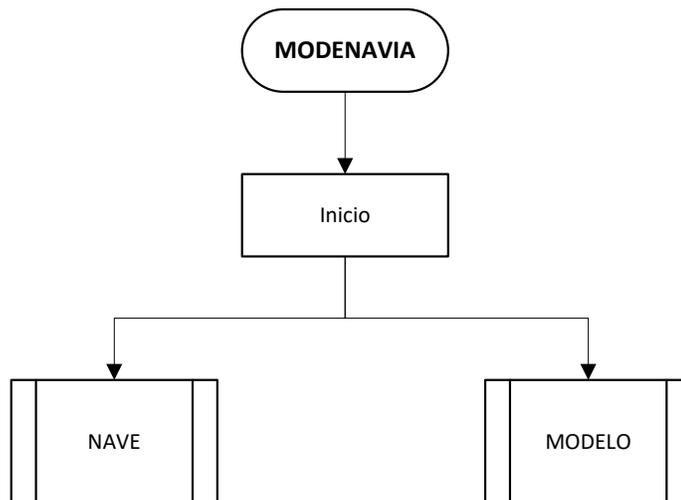


Diagrama de flujo principal etapa de inicialización.

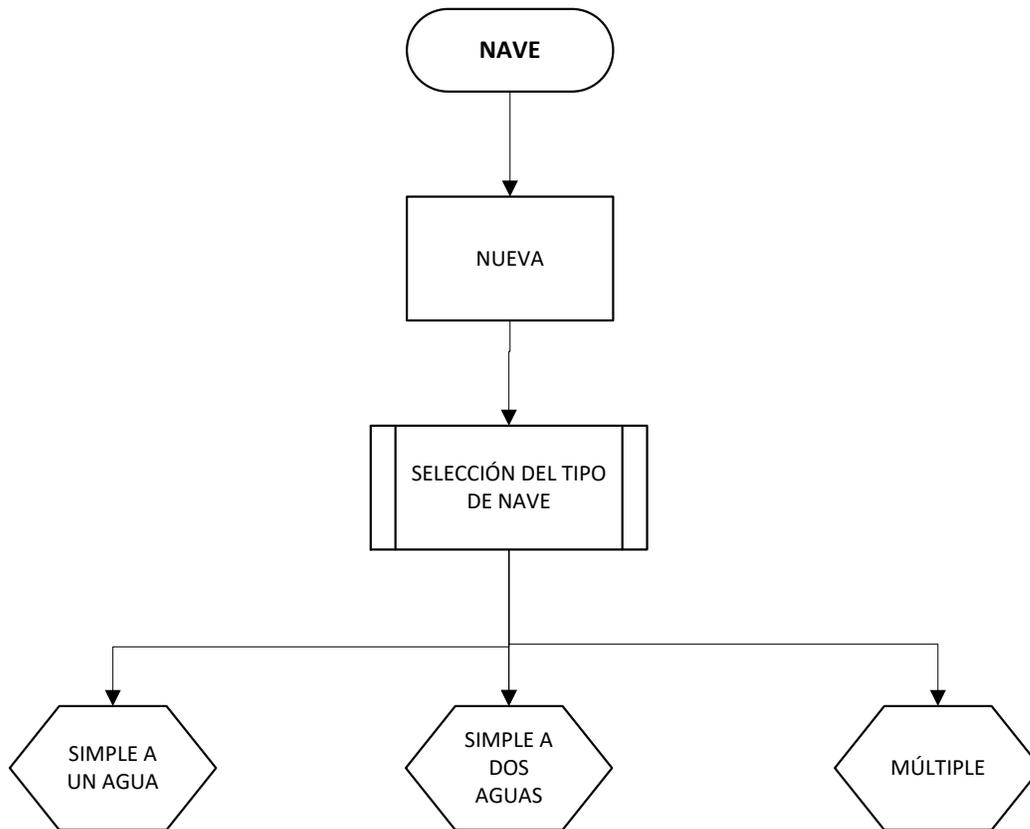


Diagrama de flujo subproceso Nave derivado de la etapa de inicialización.

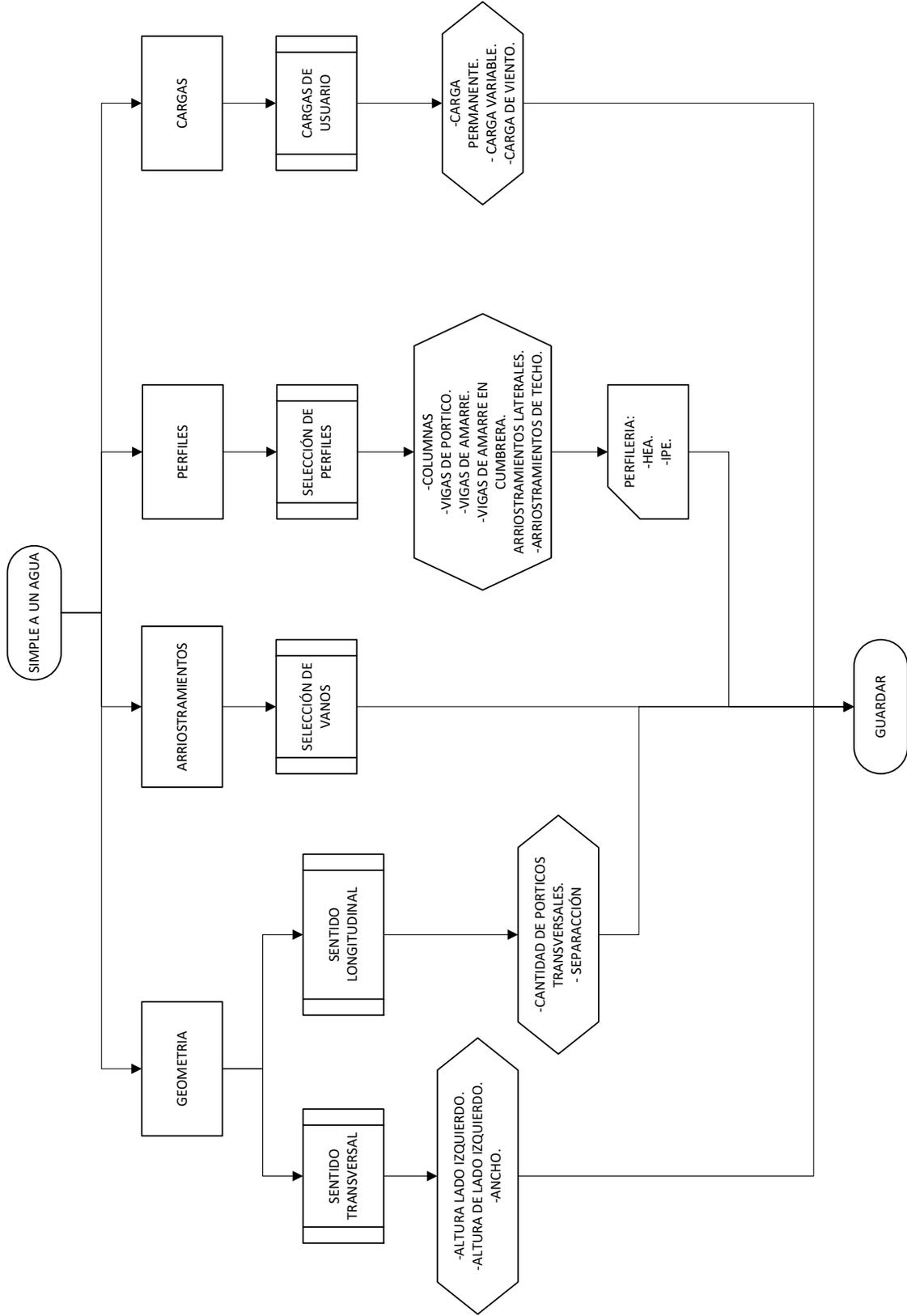


Diagrama de flujo subproceso Simple a un agua derivado del subproceso Nave.

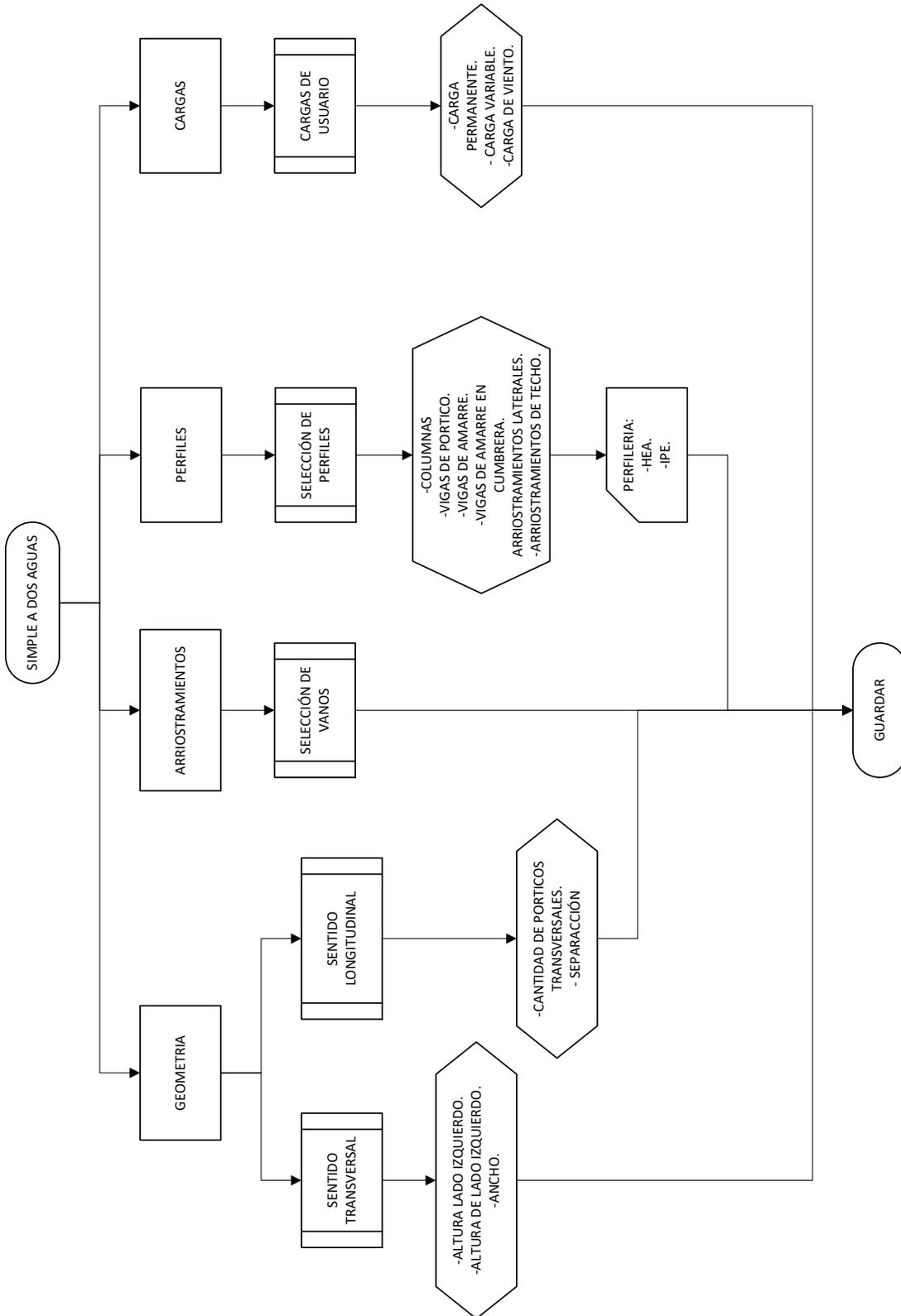


Diagrama de flujo subproceso Simple a dos aguas derivado del subproceso Nave.

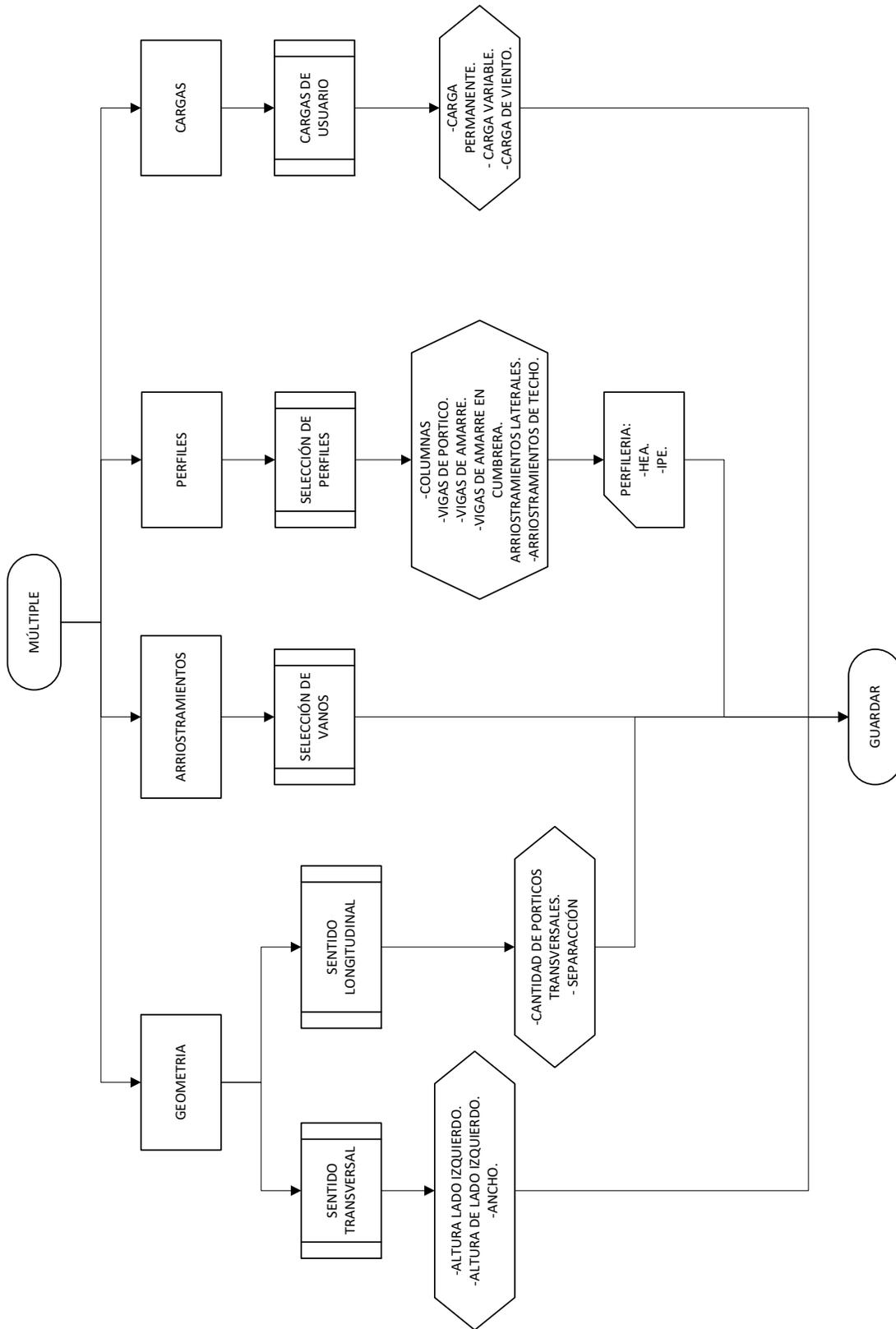


Diagrama de flujo subprocesso Múltiple derivado del subprocesso Nave.

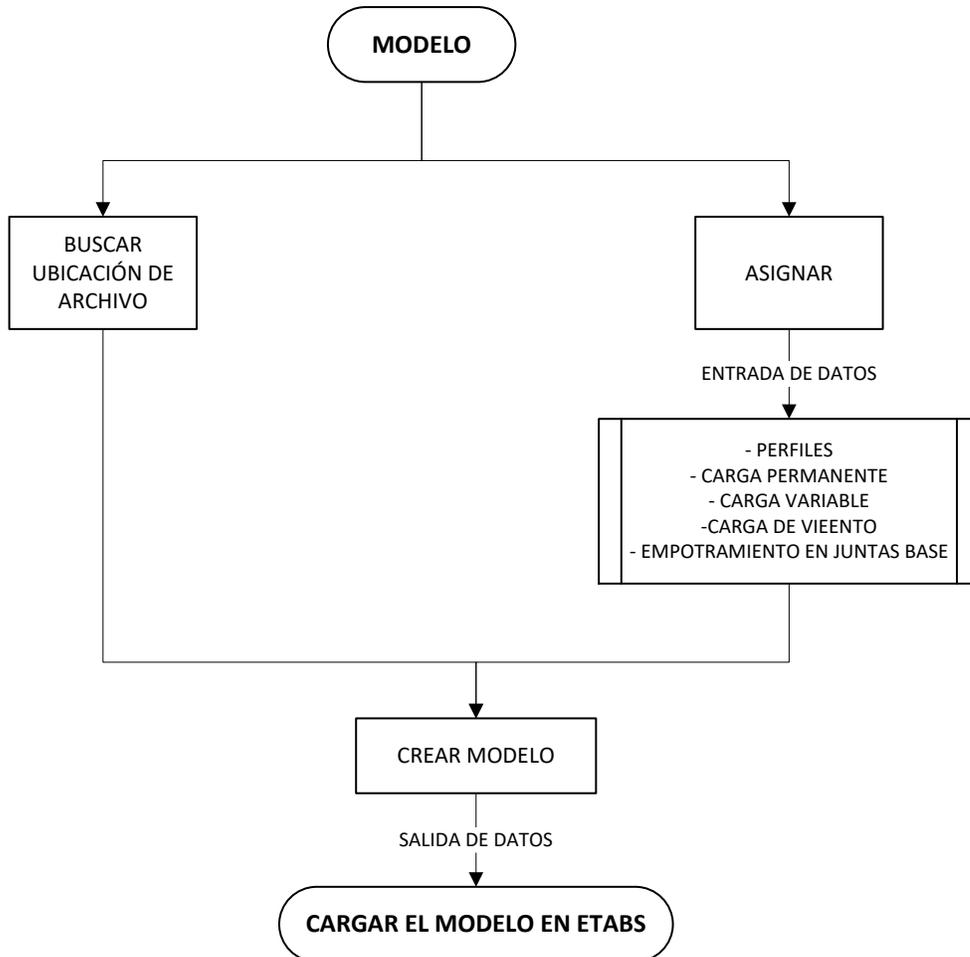


Diagrama de flujo subproceso Modelo derivado de la etapa de inicialización.

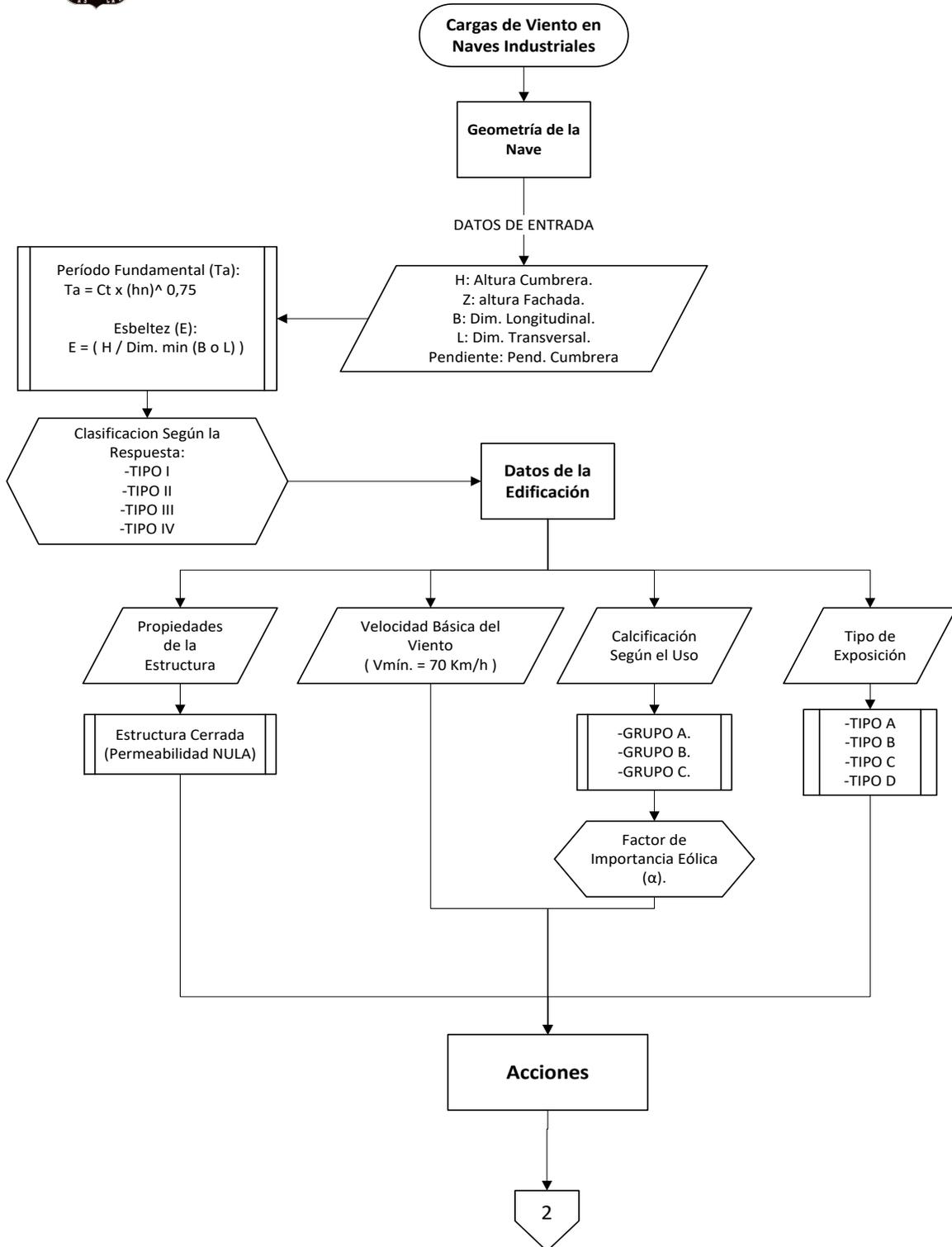


Diagrama de flujo subproceso Cargas de Viento derivado del subproceso Cargas.

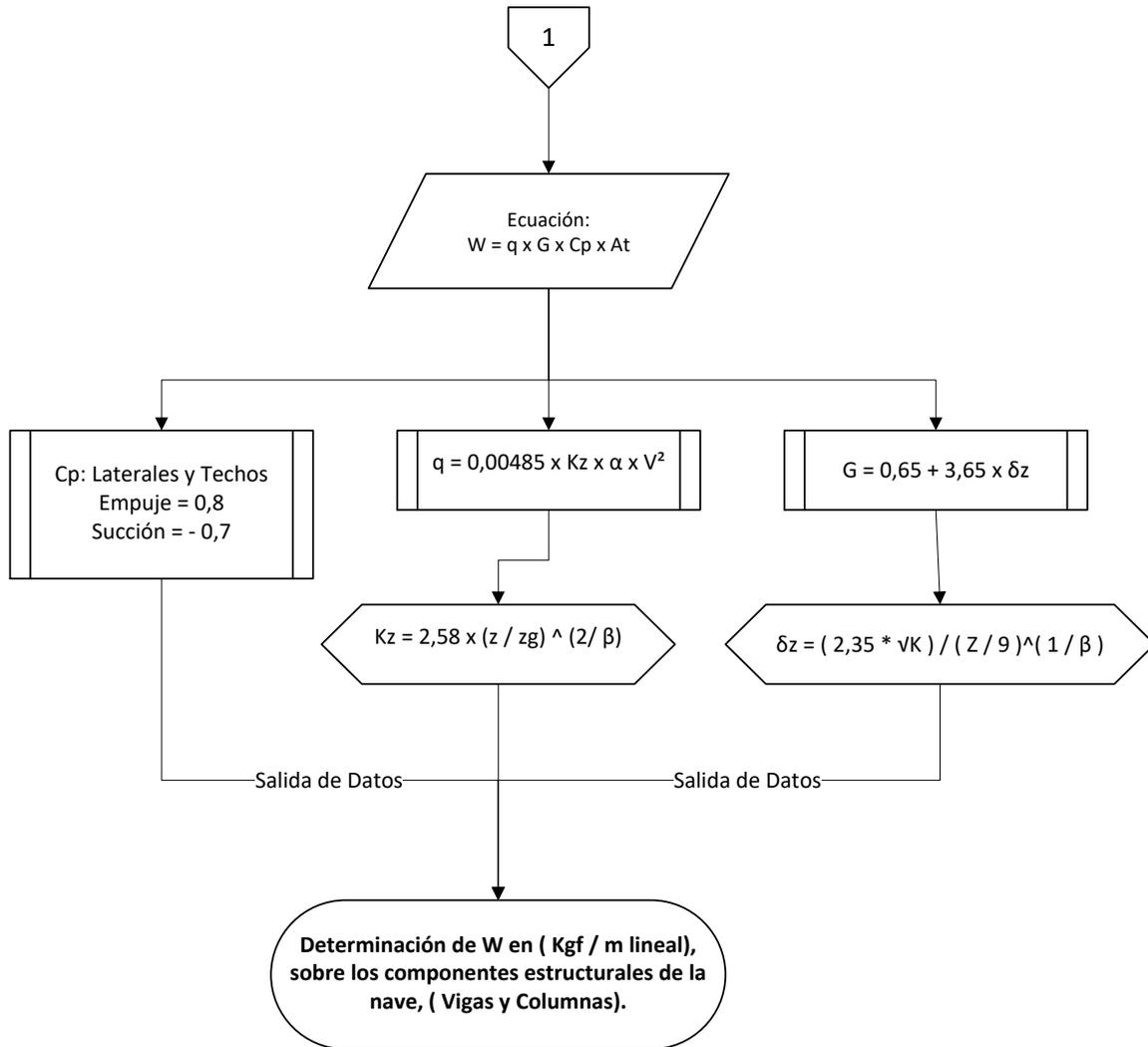


Diagrama de flujo (CONTINUACIÓN) subproceso Cargas de Viento derivado del subproceso Cargas.

4.2 Creación del archivo de la nave.

Se parametrizó la entrada de los datos descritos en los diagramas de flujo mediante los formularios de Windows según el tipo de nave seleccionada: simple a un agua, simple a dos aguas, múltiple a dos aguas. Una vez cargada la ventana del tipo de nave, se dispone de cuatro pestañas para la introducción de datos y características.

4.2.1 Nave simple a un agua

La primera pestaña corresponde a la entrada de la geometría de la nave. Se muestra una imagen al lado derecho para hacer referencia a cada componente.

Figura 10. Nave simple a un agua. Entrada de datos geométricos mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.

La siguiente pestaña permite indicar en cuáles vanos habrá arriostramientos laterales y de techo. La cantidad de vanos en la lista va acorde con la cantidad de pórticos transversales indicados en la pestaña “Geometría”.

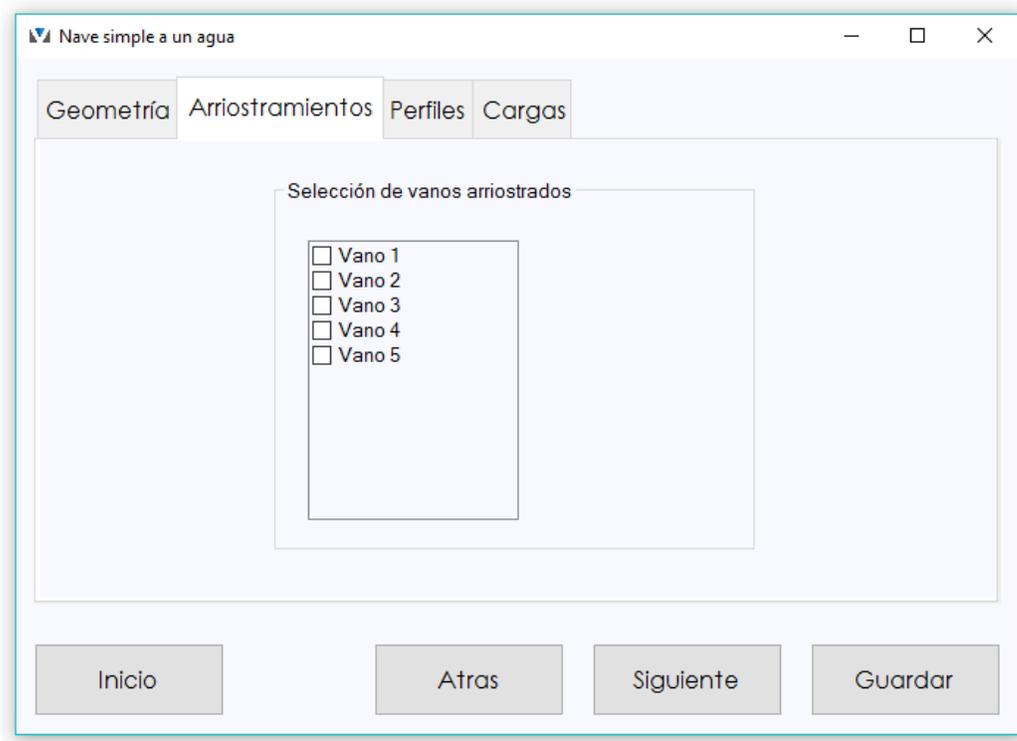


Figura 11. Nave simple a un agua. Selección de los vanos arriostrados mediante el control “CheckedListBox”. Fuente: MODENAVIA.

Luego se pueden seleccionar en la pestaña “Perfiles” las propiedades de las secciones de los miembros estructurales. Se dispone de la serie europea “HEA” para las columnas, serie “IPE” para las vigas y tres tipos de ángulos de lados iguales para los arriostramientos. Todos ellos se asignan con la propiedad del material “A36”.

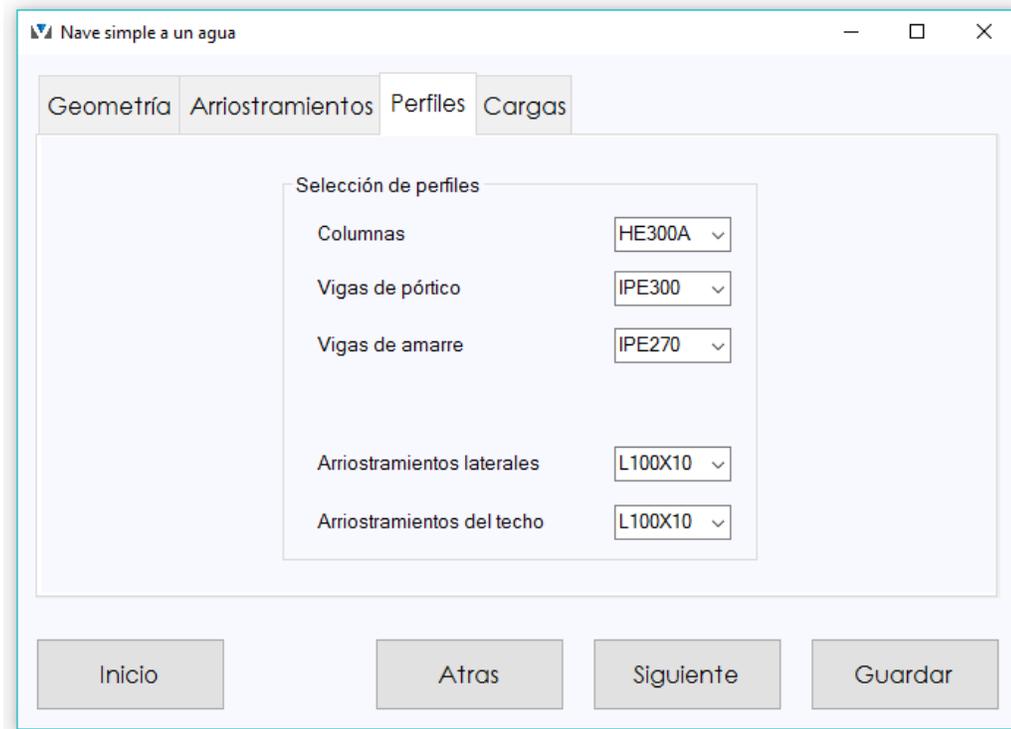


Figura 12. **Nave simple a un agua. Selección del tipo de perfil mediante el control “ComboBox”.** Fuente: MODENAVIA.

Para este tipo de nave, en la pestaña “Cargas” sólo se permite la entrada de carga permanente y carga variable. Se debe tener en cuenta que, al no modelarse las correas, la carga permanente introducida debe incluir el peso de las mismas.

Geometría Arriostramientos Perfiles Cargas

Cargas de usuario

Carga Permanente (kg/m2)	<input type="text" value="20.00"/>
Carga Variable (kg/m2)	<input type="text" value="50.00"/>

Inicio Atras Siguiete Guardar

Figura 13. Nave simple a un agua. Introducción de cargas sobre la estructura mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.

4.2.2 Nave simple o múltiple a dos aguas

La entrada de datos geométricos sigue el mismo patrón, adecuándose al tipo de pórtico. Para el caso de la nave múltiple, se adiciona un espacio para indicar la cantidad de módulos.

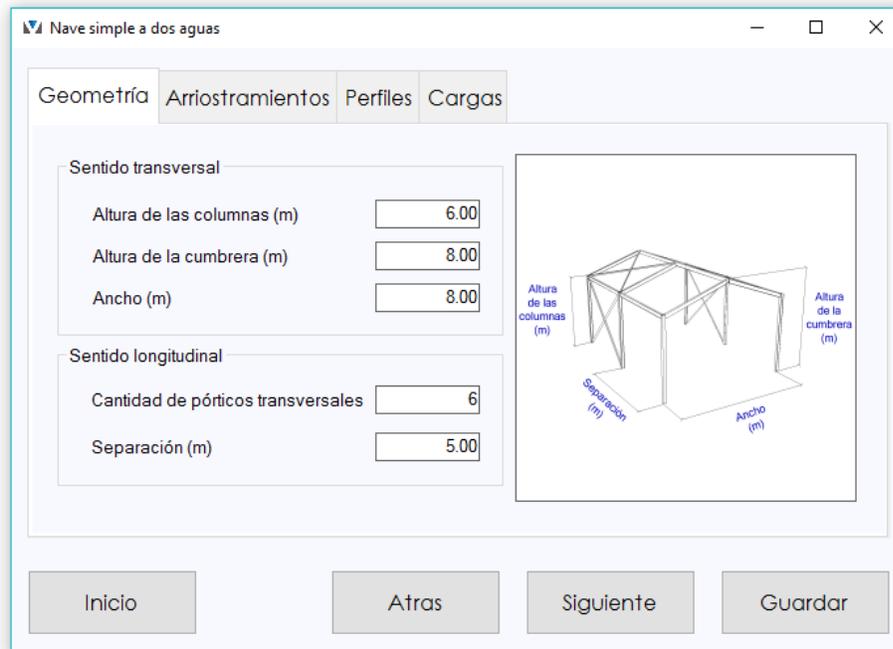


Figura 14. Nave simple a dos aguas. Entrada de datos geométricos mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.

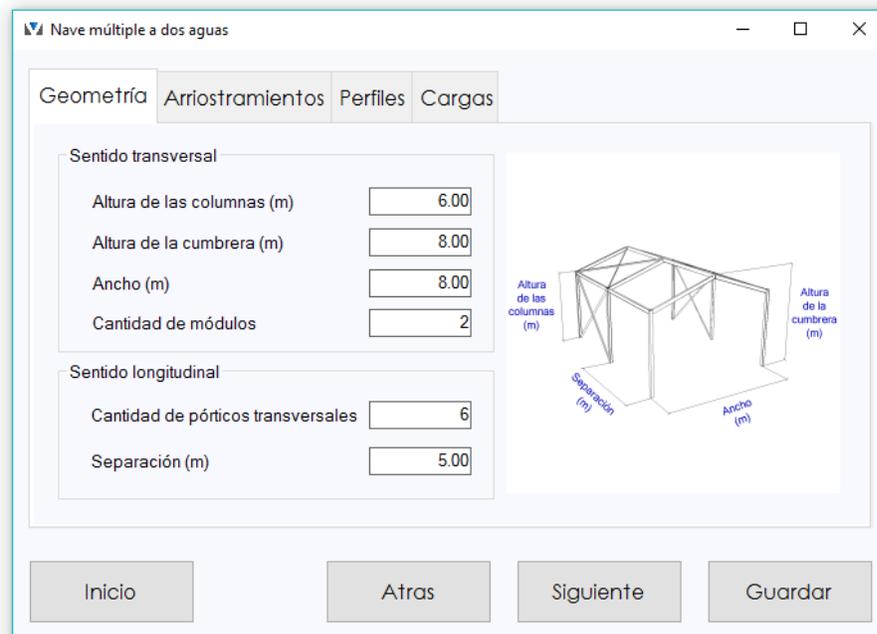


Figura 15. Nave múltiple a dos aguas. Entrada de datos geométricos mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.

Las pestañas “Arriostramientos” y “Cargas” siguen el mismo patrón de la nave simple a un agua.

En la pestaña “Cargas” además de las cargas permanente y variable, se tiene la posibilidad de introducir las presiones correspondientes a la acción del viento sobre fachadas y techo de la nave a barlovento y sotavento.

Cargas de usuario	
Carga Permanente (kg/m ²)	20.00
Carga Variable (kg/m ²)	50.00

Viento en fachadas		
	4.5 m	Z
W/A Barlovento (kg/m ²)	30.00	30.00
W/A Sotavento (kg/m ²)	30.00	30.00

Viento en techos	
	Z
W/A Barlovento (kg/m ²)	30.00
W/A Sotavento (kg/m ²)	30.00

Calcular Viento

Inicio Atras Siguiete Guardar

Figura 16. Nave simple o múltiple a dos aguas. Introducción de cargas sobre la estructura mediante el control “TextBox”. Fuente: MODENAVIA.

4.2.3 Cálculo de la acción del viento

Si el usuario lo desea, puede hacer “click” en el botón “Calcular Viento” para determinar la acción del viento sobre la estructura con la Norma Venezolana 2003-89 “Acciones de viento sobre las construcciones”.

Acción del viento

Clasificación según las características de respuesta: TIPO I
Clasificación según el uso: GRUPO B

Factor de importancia eólica Zona Costera

Tipo de exposición

Localidad

Estado
Ciudad

Velocidad básica del viento (km/h)

Viento en fachadas

Cp a Barlovento
Cp a Sotavento

Viento en techos

Cp a Barlovento
Cp a Sotavento

Figura 17. Nave simple o múltiple a dos aguas. Cálculo de la acción del viento. Fuente: MODENAVIA.



Se presenta la posibilidad de aumentar el factor de importancia eólica un 10% si se encuentra en una zona costera. Además, se puede seleccionar el tipo de exposición y según la localidad determinar la velocidad básica del viento. Los coeficientes de arrastre sobre la superficie (C_p) deben ser indicados por el usuario según las particularidades de la estructura, tal como lo indica la Norma.

4.2.4 Guardado de los datos generales de la nave

Una vez introducidos todos los datos necesarios para el modelado de la estructura, éstos deben ser guardados en un archivo de datos para su posterior uso. La ubicación debe tenerse en cuenta a la hora de crear el modelo.

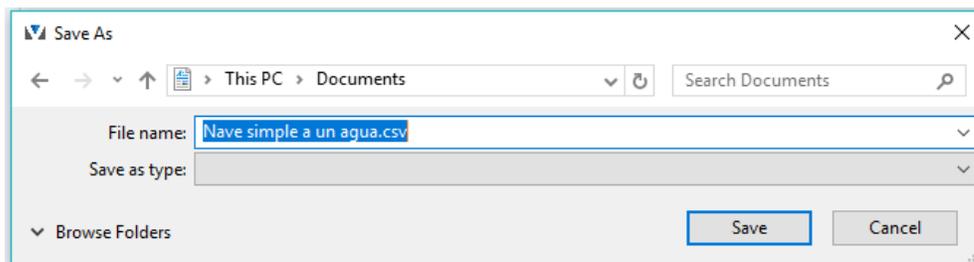


Figura 18. **Guardado de los datos generales de la nave en un archivo de datos con formato CSV.** Fuente: MODENAVIA.

4.3 Creación del modelo de ETABS.

Para la creación del modelo es necesario cargar el archivo con los datos generales de la estructura generado anteriormente por el usuario según el tipo de nave seleccionada. Una vez elegida la ubicación, se puede indicar si se asignarán las cargas, perfiles o empotramientos en las juntas base.

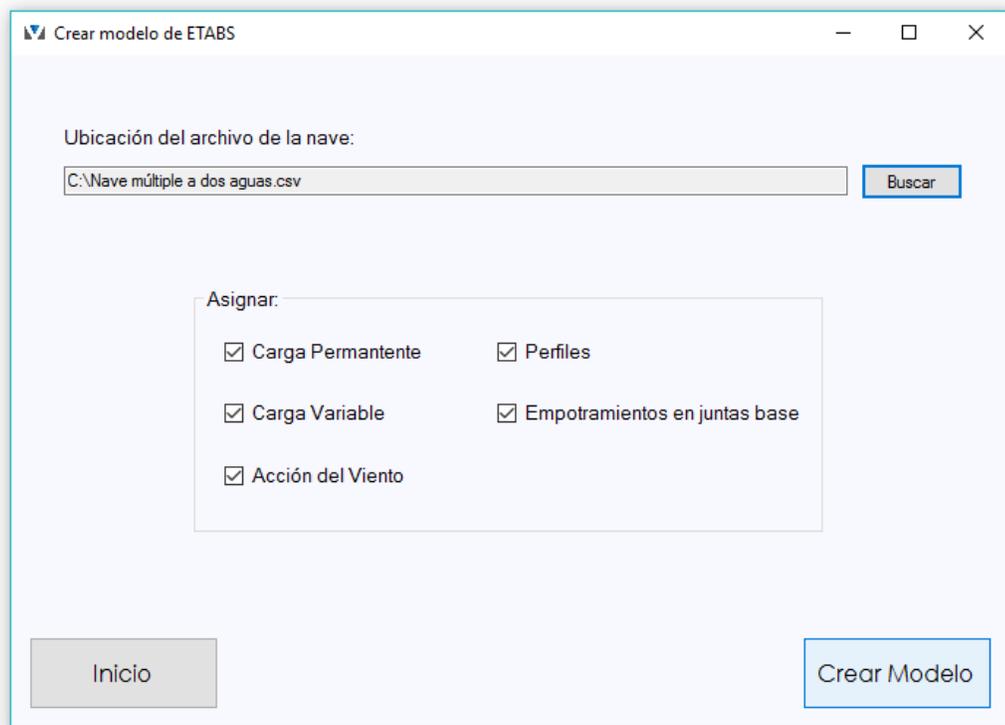


Figura 19. **MODENAVIA**. Ventana “Crear modelo de ETABS”. Fuente: Elaboración propia.

Al hacer “Click” en el botón “Crear Modelo”, el programa carga los datos del archivo de la nave y procede a crear el objeto de ETABS y realizar el modelado.

4.3.1 Enlace con la API de ETABS

En la etapa de programación del modelado, para tener acceso a los métodos que permiten la interacción con ETABS, se cargó desde el compilador una referencia a la biblioteca de enlace dinámico (DLL) de la versión 2015 del software.

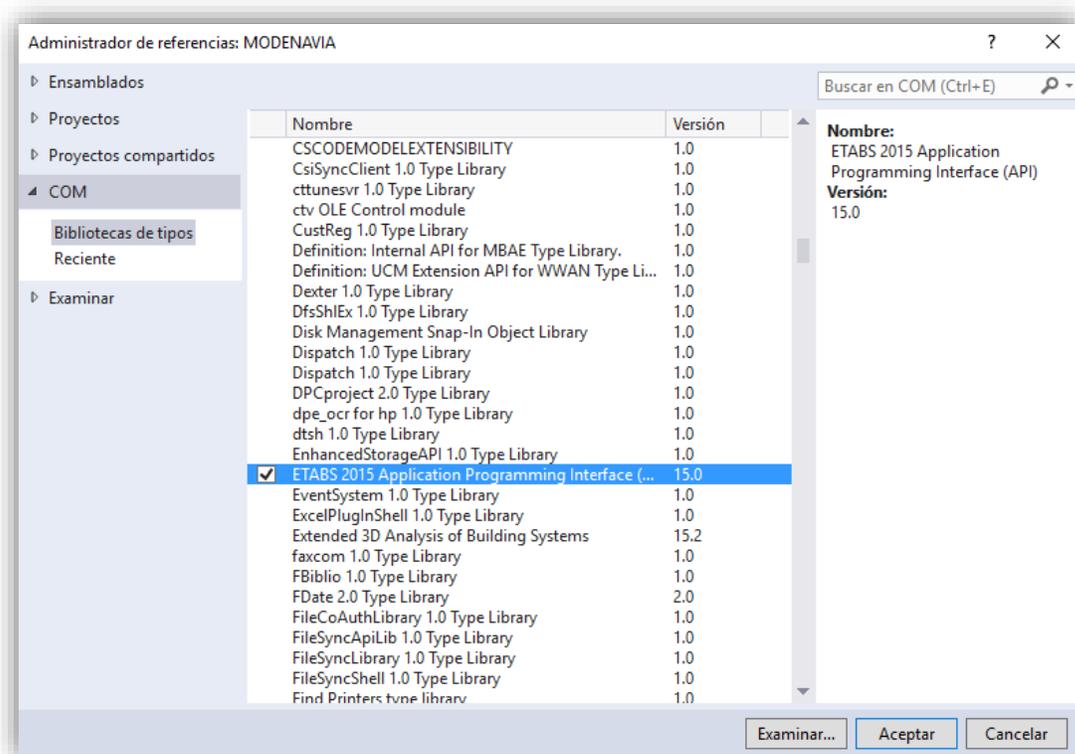


Figura 20. MODENAVIA. Ventana del administrador de referencias de Visual Studio 2015. Fuente: Elaboración propia.

Se utilizó el archivo HTML de ayuda compilado “CSi API ETABS 2015” para ubicar los métodos necesarios para la creación del objeto de ETABS, la inicialización del modelo, establecimiento de unidades, creación del sistema de coordenadas, dibujo de juntas y elementos tipo “frame”,



definición de grupos, asignación de perfiles y cargas, guardado del modelo, entre otros.

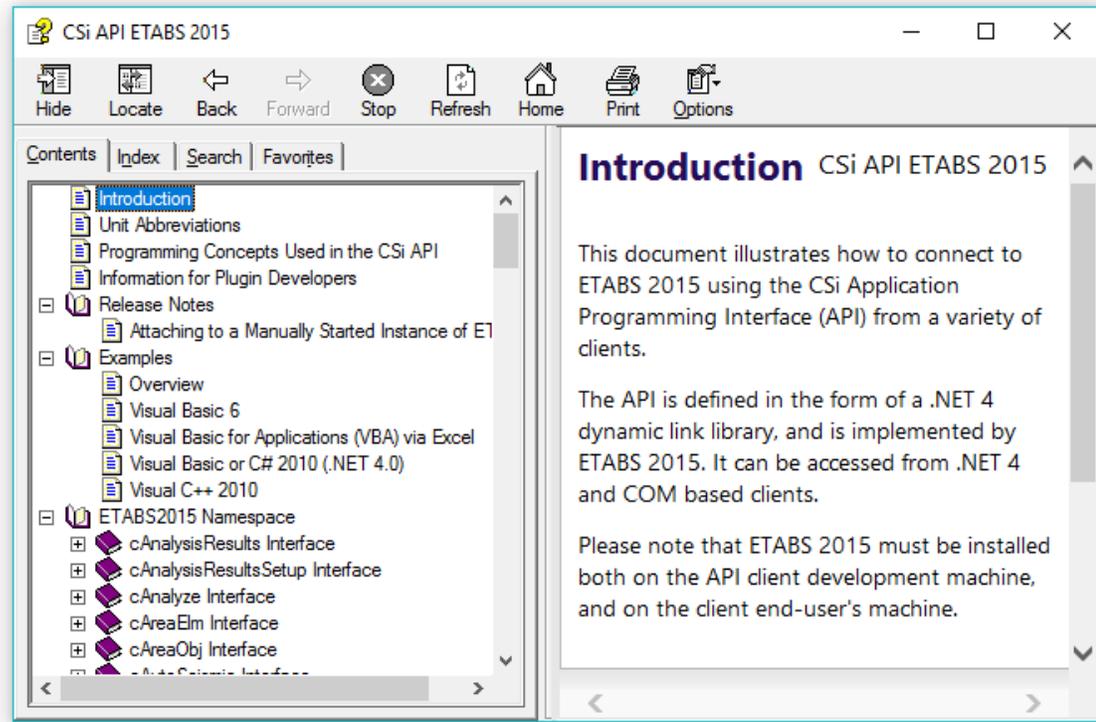


Figura 21. Archivo HTML de ayuda compilado “CSi API ETABS 2015”. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta una parte del código donde se hace la conexión con la API de ETABS (*nótese que muchos comentarios se encuentran en escritos en inglés porque fueron tomados directamente de los ejemplos en el Archivo HTML de ayuda compilado “CSi API ETABS 2015”*):

```
Public Class Form7
```

```
    'Declaración de variables  
    Dim ret As Long  
    Dim ETABSObject As ETABS2015.cOAPI  
    Dim myHelper As ETABS2015.cHelper  
    Dim SapModel As ETABS2015.cSapModel
```

```
Private Sub Btn_M_CrearModelo_Click(sender As Object, e As EventArgs)  
Handles Btn_M_CrearModelo.Click
```



```
'ETABS Object
myHelper = New ETABS2015.Helper
'Note, the path below may need to be modified if you have ETABS
installed in a different location
ETABSObject = myHelper.CreateObject("C:\Program Files\Computers
and Structures\ETABS 2015\ETABS.exe")
'Start ETABS application
ret = ETABSObject.ApplicationStart()
'Get a reference to cSapModel to access all OAPI classes and
functions
SapModel = ETABSObject.SapModel
'Initialize model
ret = SapModel.InitializeNewModel(ETABS2015.eUnits.kgf_m_C) 'Set
Units
End Sub

End Class
```

Entre los procedimientos para dibujar los elementos de la nave se tiene:

```
Sub DibujarJuntas(ByRef Coord() As junta, ByVal Njuntas As Integer)
    For i = 1 To Njuntas
        ret = SapModel.PointObj.AddCartesian(Coord(i).x,
        Coord(i).y, Coord(i).z, Coord(i).name)
    Next
End Sub
```

4.4 Ejecución del programa.

El programa ejecutable requiere para su correcto funcionamiento los siguientes archivos: “Localidades.csv”, “Coeficientes.csv”, “Geometría.csv” (generado por el mismo programa) y el archivo generado por el usuario para crear el modelo de ETABS. Es necesario tener instalada la versión 2015 del software. Al iniciar el programa, aparece la ventana principal donde se tienen dos opciones: Nave y Modelo.

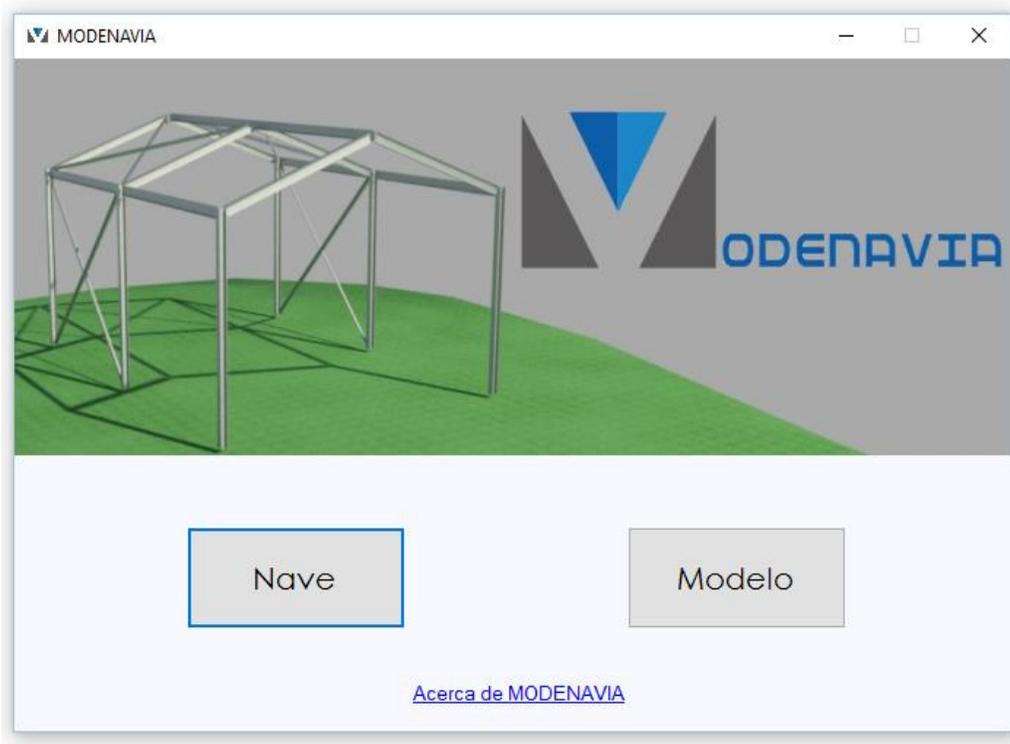


Figura 22. MODENAVIA. Ventana principal. (esta imagen hay que cambiarla por una nueva donde aparece el link Acerca de)

Al hacer “Click” en el botón “Nave”, se tiene la opción de seleccionar el tipo y posteriormente introducir los datos y dar características a la estructura. El ejemplo que se presenta es para una nave múltiple a dos aguas.

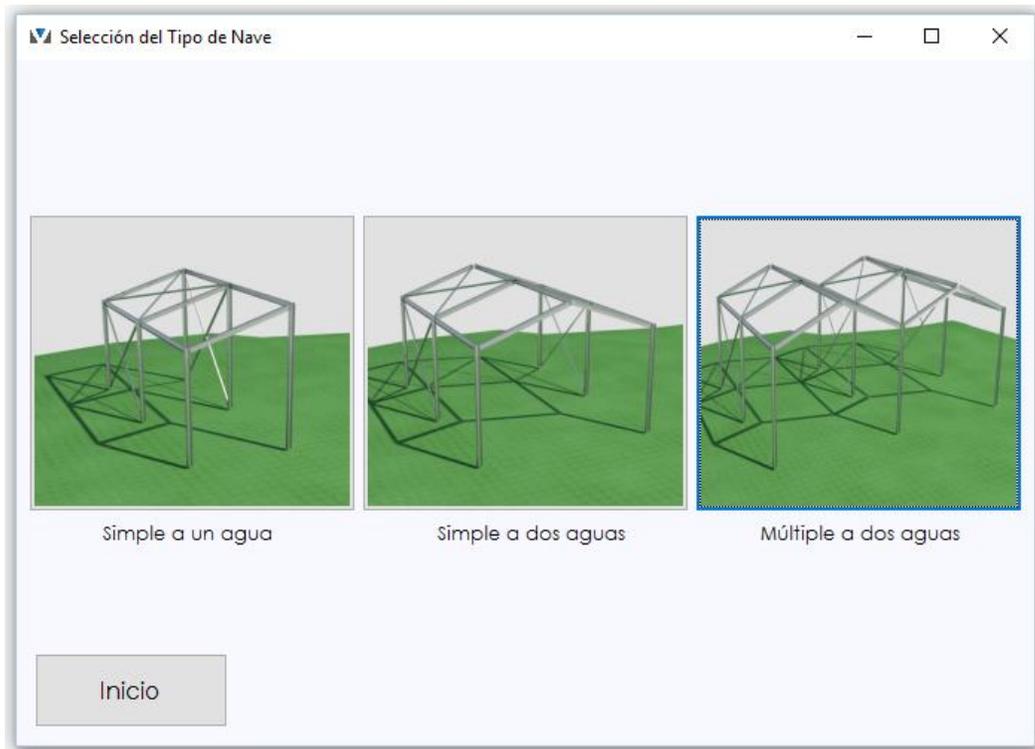


Figura 23. MODENAVIA. Ventana de selección del tipo de nave.

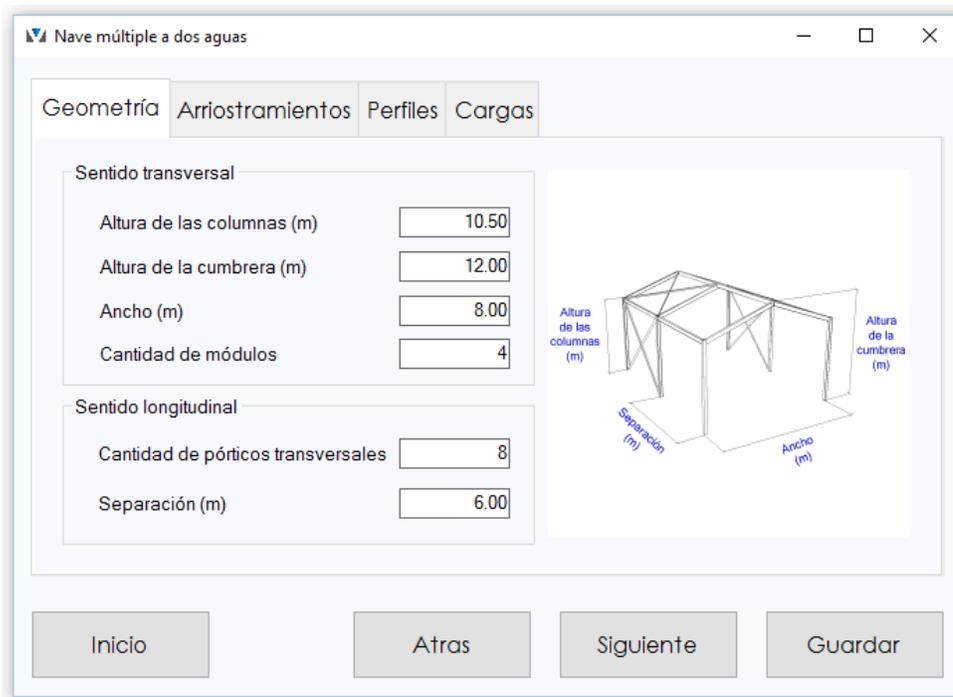


Figura 24. Nave múltiple a dos aguas. Introducción de datos geométricos.

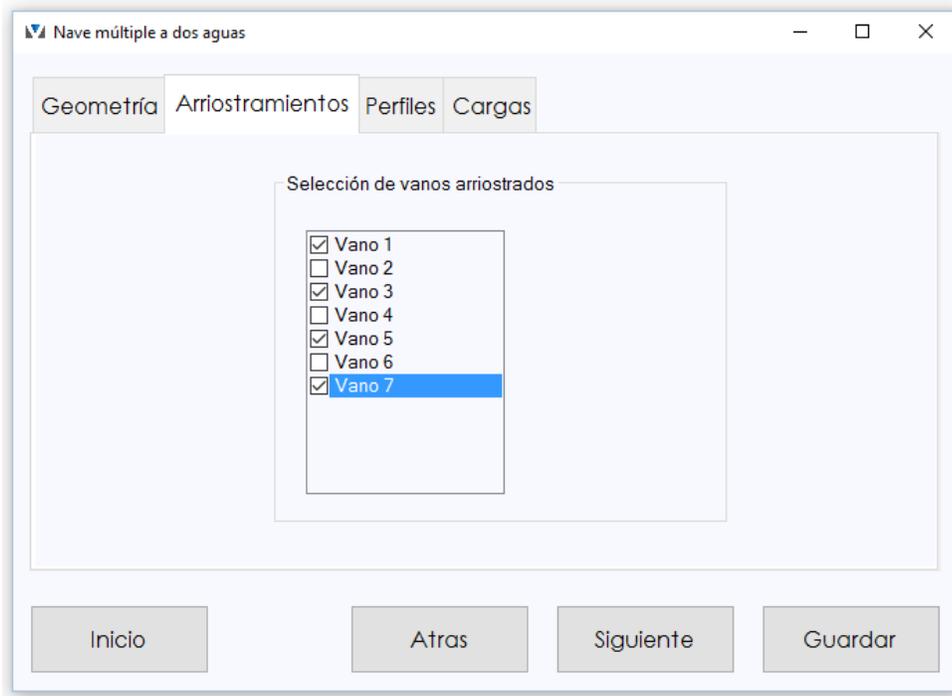


Figura 25. Nave múltiple a dos aguas. Selección de vanos arriostrados.

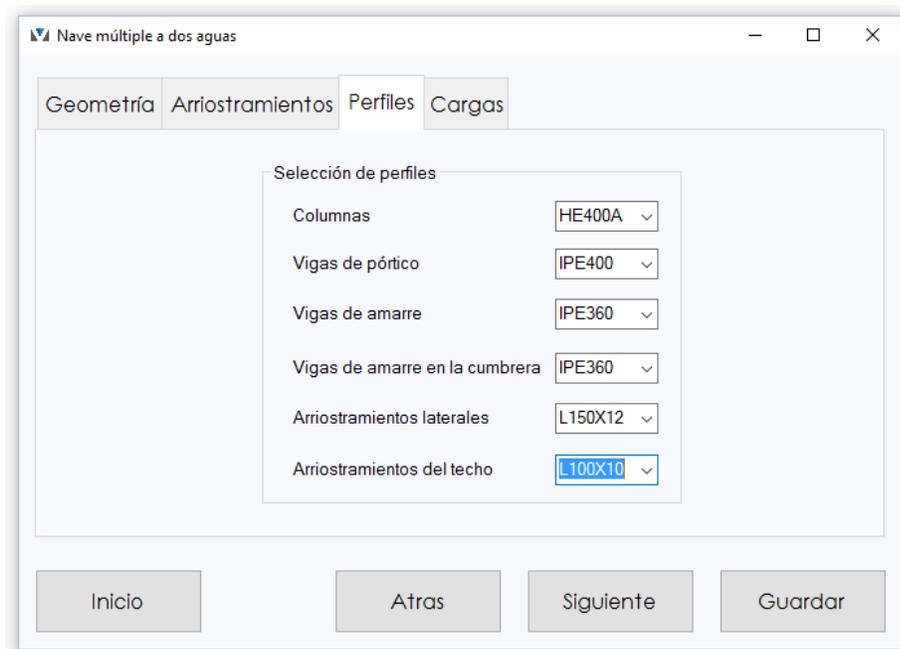


Figura 26. Nave múltiple a dos aguas. Selección de perfiles para los elementos estructurales.

Figura 27. Nave múltiple a dos aguas. Introducción de datos para el cálculo de la acción del viento.

Figura 28. Nave múltiple a dos aguas. Cargas sobre la estructura.

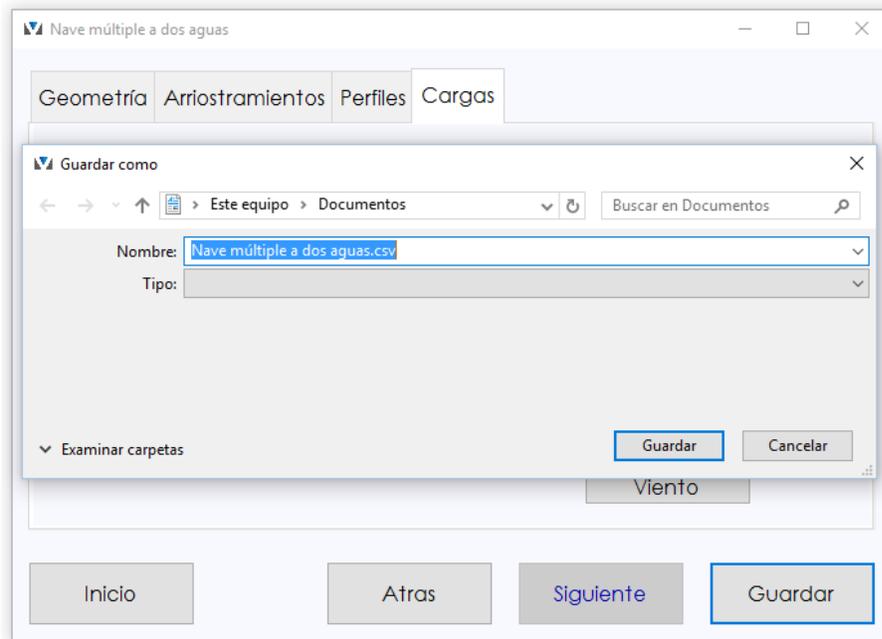


Figura 29. Nave múltiple a dos aguas. Guardado del archivo de datos generales.

Una vez guardado el archivo, se puede hacer “Click” en el botón “Inicio” y luego en el botón “Modelo” para cargar el archivo generado.

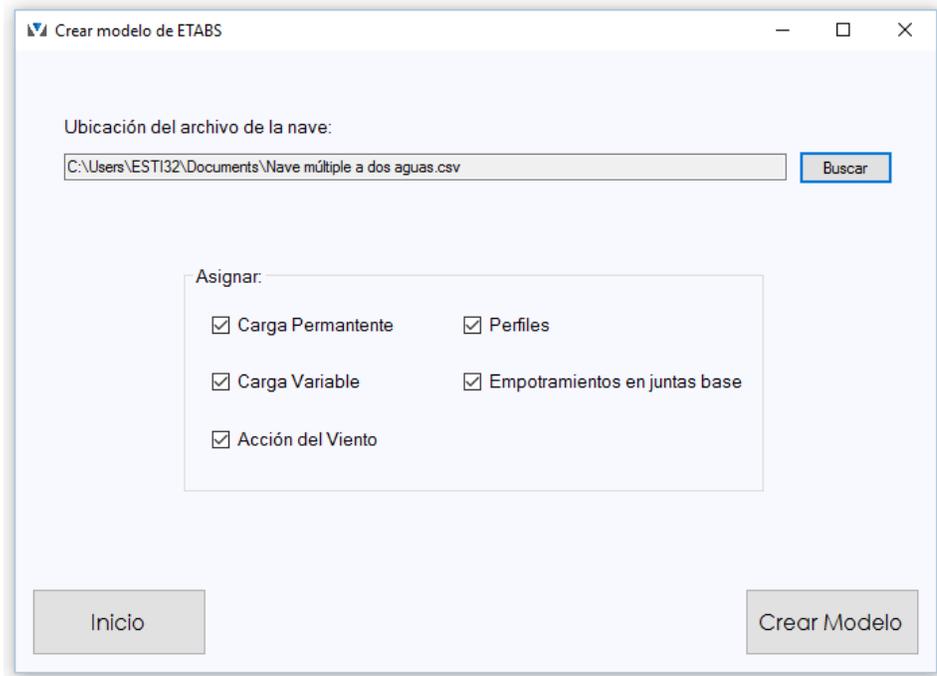


Figura 30. MODENAVIA. Ventana para crear el modelo de ETABS.

Luego de ubicado el archivo, se pueden seleccionar las asignaciones que se quieran ejecutar sobre el modelo. Luego al hacer “Click” en el botón “Crear Modelo”, el programa inicia la interacción con la API de ETABS e inicia el Software.

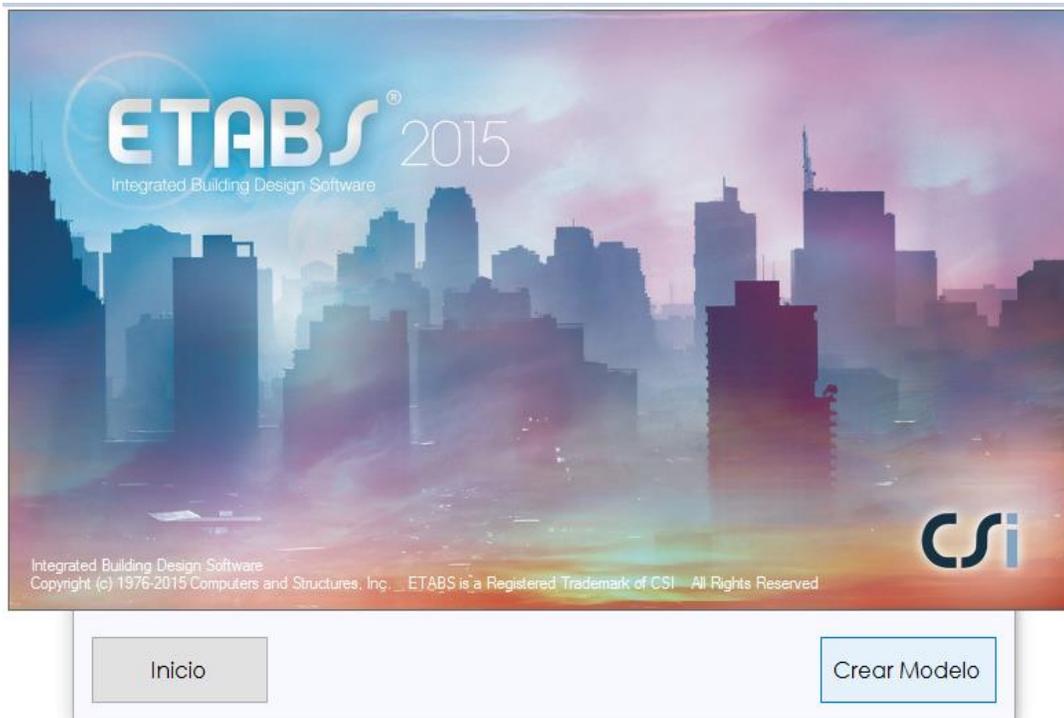


Figura 31. MODENAVIA. Inicialización de ETABS.

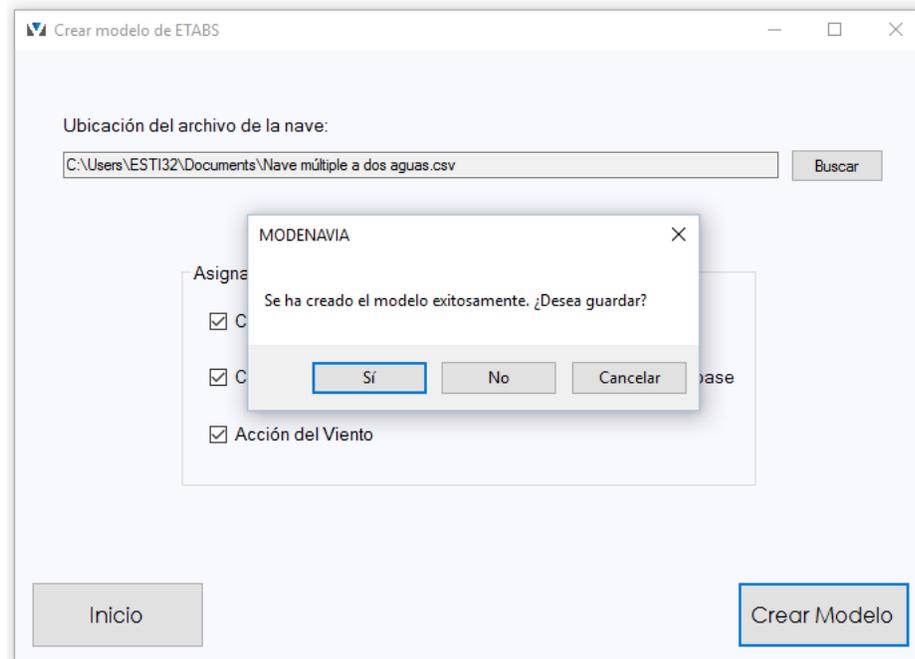


Figura 32. MODENAVIA. Mensaje de verificación de la creación del modelo.



Una vez guardado el modelo, se le da la opción al usuario de realizar un análisis de prueba y chequear los perfiles.

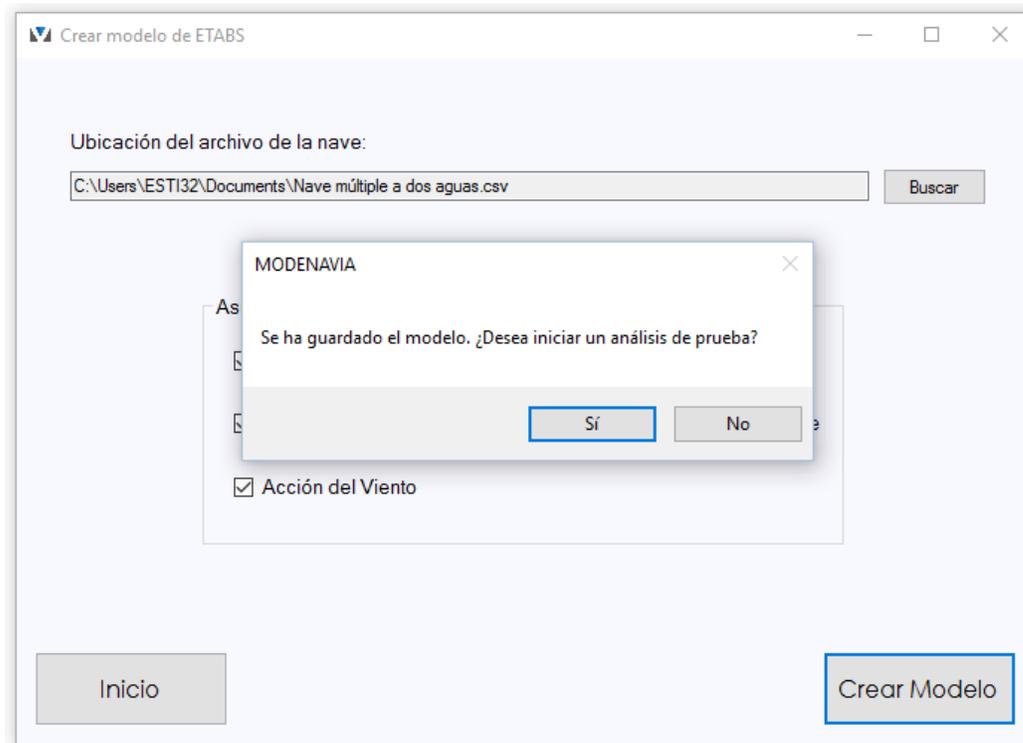


Figura 33. MODENAVIA. Mensaje de opción de realizar un análisis de prueba.

Una vez completado el análisis, se envía un mensaje de “Operación exitosa”. A continuación, se muestran las capturas del modelo generado:

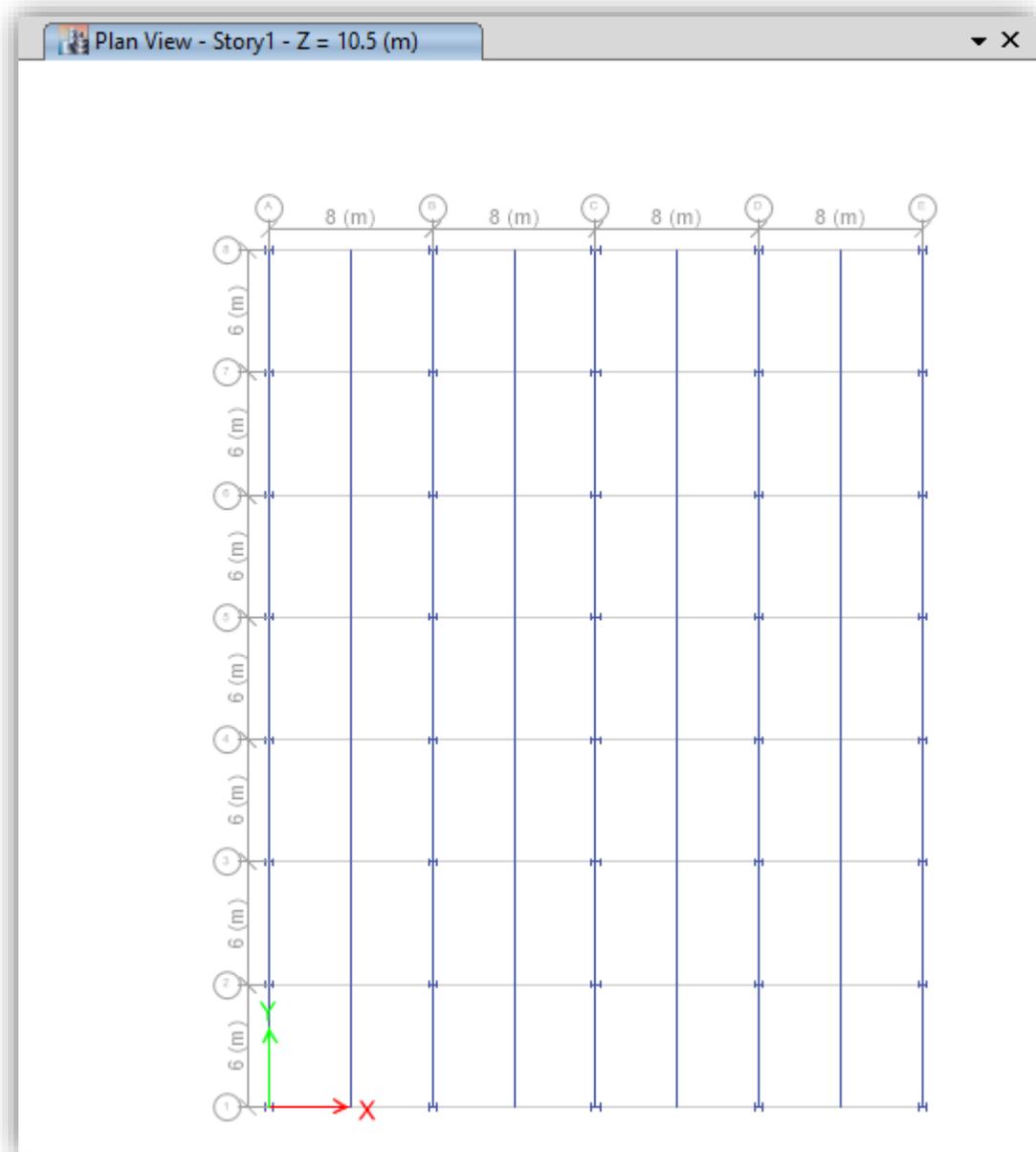


Figura 34. Modelo de ETABS. Vista de planta de la estructura.

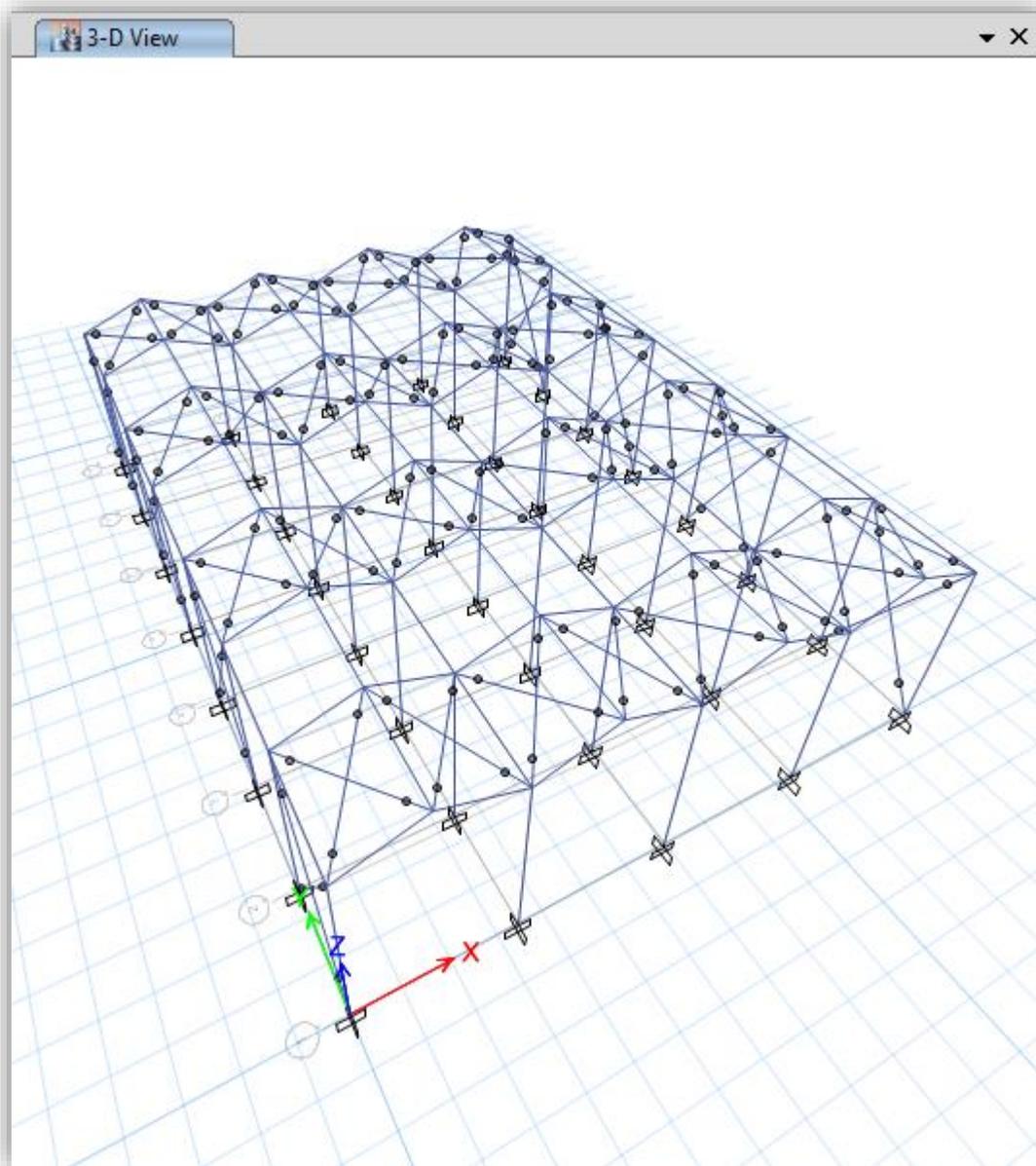


Figura 35. Modelo de ETABS. Vista 3D de la estructura.

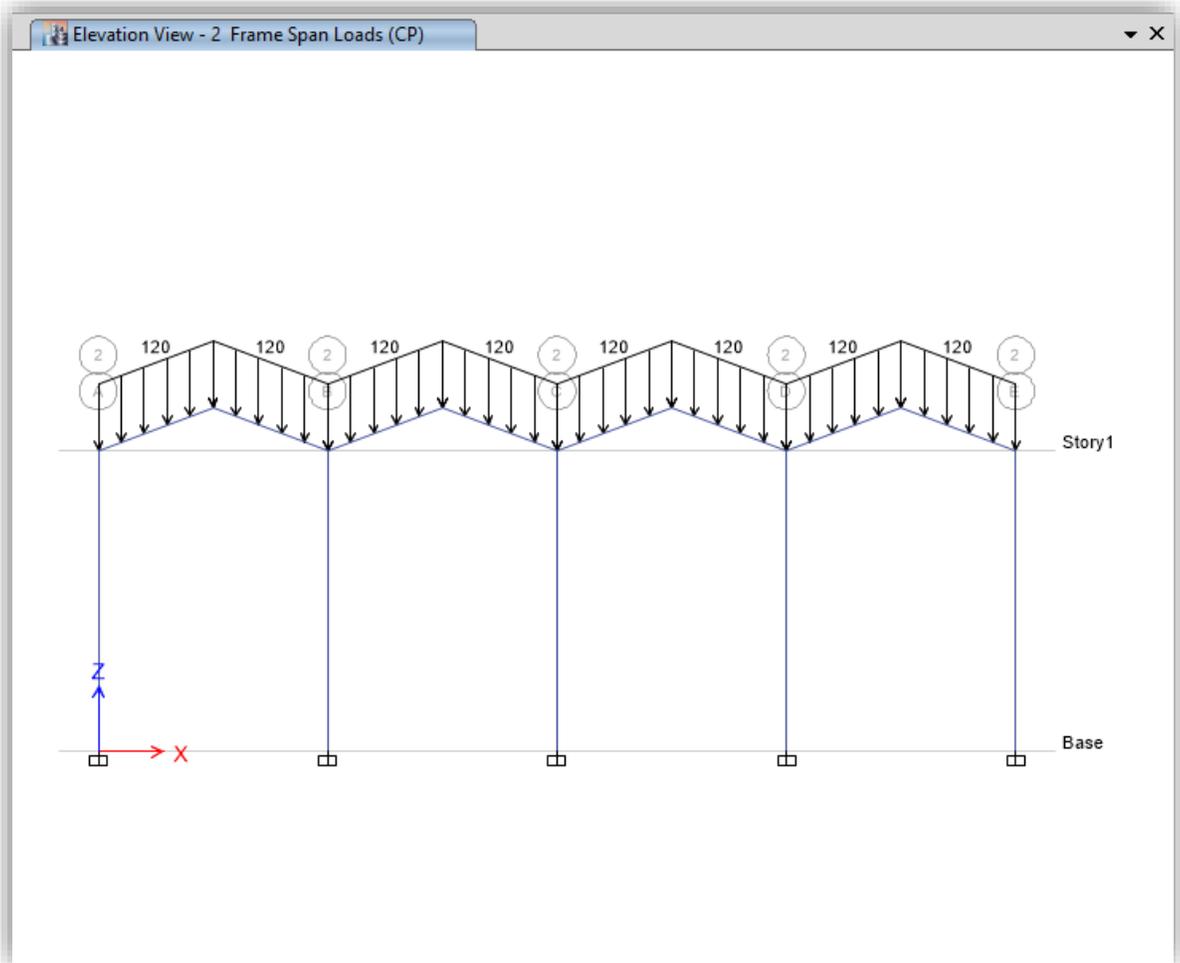


Figura 36. Modelo de ETABS. Carga permanente sobre las vigas de la cumbrera.

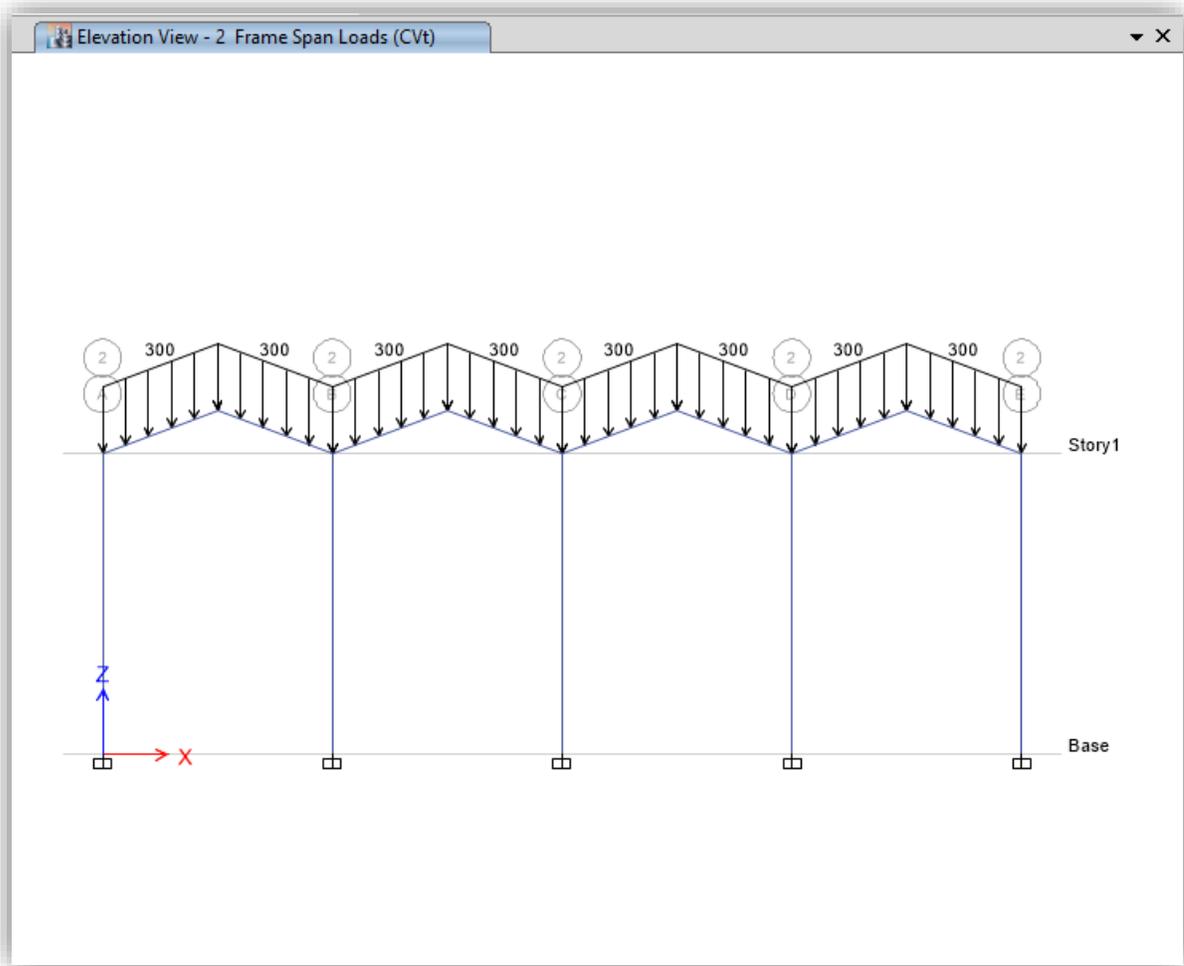


Figura 37. Modelo de ETABS. Carga variable sobre las vigas de la cumbrera.

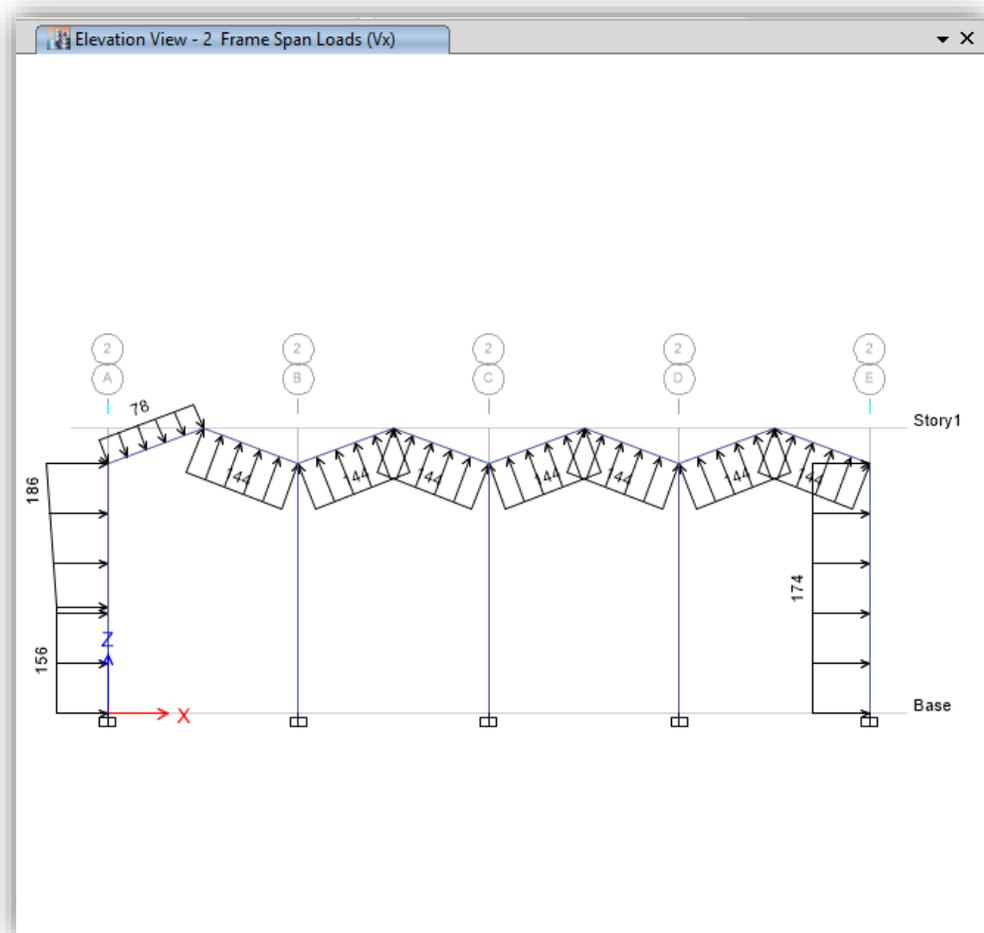


Figura 38. Modelo de ETABS. Cargas de viento en dirección "X".

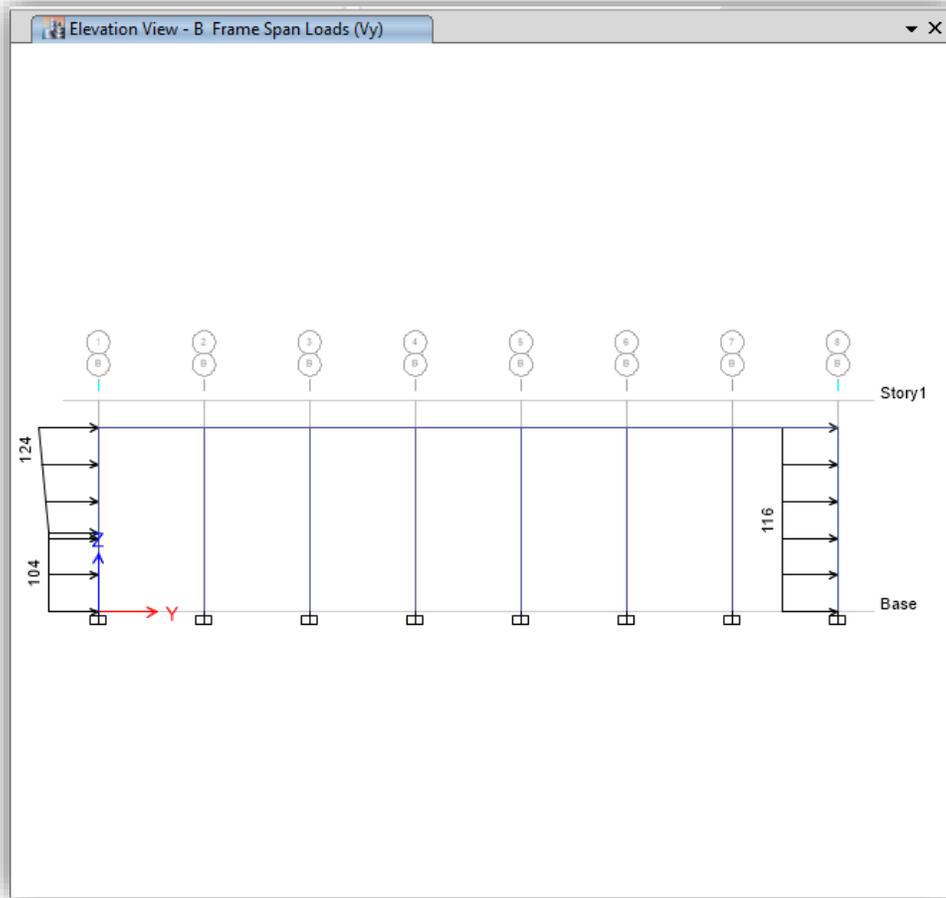


Figura 39. Modelo de ETABS. Cargas de viento en dirección "Y".

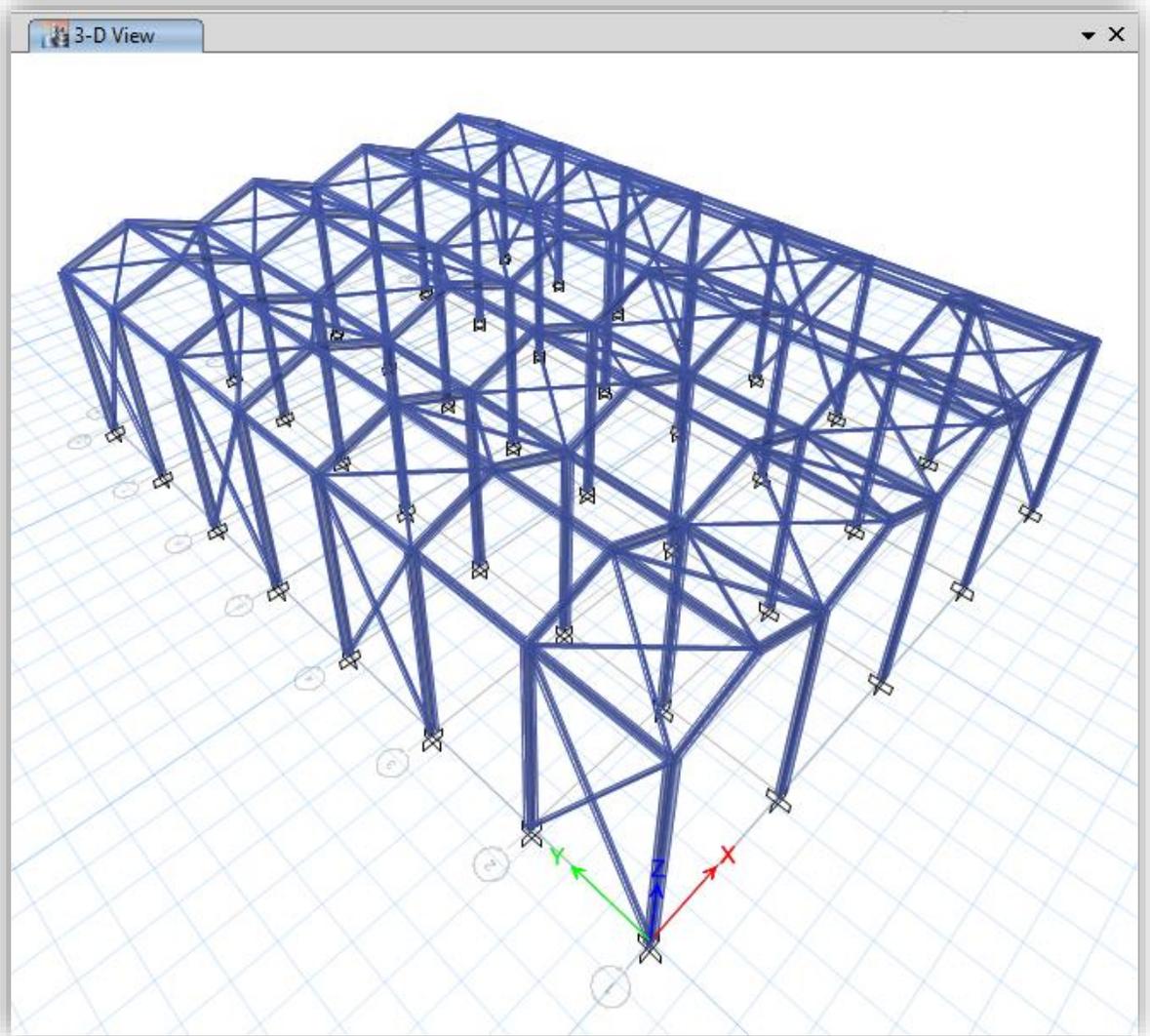


Figura 40. Modelo de ETABS. Vista 3D con las secciones asignadas.



4.5 Análisis de resultados.

Una vez realizada la conexión con una API, las posibilidades de complementar, personalizar e incluso añadir herramientas a un software, se hacen incontables. Es viable incluso, trabajar simultáneamente con la API de varios softwares y tomar lo necesario de cada uno para un fin específico que dé soluciones a problemas cotidianos de la ingeniería.

Tomando como ejemplo MODENAVIA, ahora es posible programar la extracción de las solicitudes de la estructura desde el modelo ETABS y realizar el diseño de conexiones metálicas y sistema de fundaciones, reformulando el código de programas libres existentes para cumplir tales funciones.

En un análisis más profundo, queda en evidencia lo sencillo que sería conectar algo tan simple como hojas de cálculo con softwares de dibujo como AutoCAD, e incluso plataformas más avanzadas que trabajen con BIM. Se puede intercambiar información entre programas de cálculo que, al trabajar juntos, se complementen para llegar a un objetivo. La idea de optimizar tareas repetitivas o muy complejas, o añadir funciones muy específicas que no contemplan los programas utilizados a diario por los ingenieros, usando conocimientos básicos de programación; permite dar un enfoque importante a las ventajas que puede ofrecer aprender a trabajar con una API e implementar su uso.



CONCLUSIONES

- I. La definición paramétrica de los componentes del modelo estructural de naves industriales, a partir de los resultados de una encuesta cerrada y el estudio de las variables involucradas en el proceso de modelado; permitió ver con claridad cuáles serían las funciones que caracterizarían al complemento MODENAVIA.
- II. La elaboración de los diagramas de flujo de las funciones a realizar por el complemento para optimizar el proceso de modelado de naves industriales con software especializado, facilitó la creación del código y el surgimiento de las estrategias de solución.
- III. La interfaz diseñada está compuesta por Formularios de Windows, que permiten al usuario introducir los datos necesarios para crear el modelo de naves industriales con software especializado de manera rápida y eficiente.
- IV. Se utilizó la Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) de ETABS para programar la generación del modelo estructural de naves industriales.
- V. Con el presente trabajo de grado se pudo develar la punta de un gran iceberg que representa la programación con API. En este caso se aplicó esta tecnología para el modelado de galpones, pero el alcance se extiende a todos los procesos de ingeniería y planificación de proyectos, donde sería de gran ventaja implementarlo en los softwares que usan tecnología BIM, por ejemplo, haciendo que se puedan manipular de forma más eficiente y personalizada, agregando características específicas o ajustándolo a normativas locales.



RECOMENDACIONES

- I. Extender el alcance del complemento MODENAVIA, agregando la posibilidad de extraer las solicitudes del modelo estructural de la nave industrial y diseñar las conexiones metálicas y sistema de fundaciones.
- II. Utilizar la API de AutoCAD a través del “ObjectARX SDK” para realizar el dibujado automático de detalles de conexiones metálicas y sistema de fundaciones.
- III. Desarrollar complementos que amplíen el alcance del diseño de miembros sismorresistentes en estructuras de concreto armado en Venezuela con ETABS o cualquier otro software de cálculo abierto a colaboradores.
- IV. Organizar el contenido programático de la asignatura Computación II a una Introducción a la Programación Orientada a Objetos y el uso de la Interfaz de Programación de Aplicaciones.
- V. Motivar a los estudiantes a desarrollar en Hojas de Cálculo de Excel, a través de la API y Visual Basic for Applications (VBA), enlaces con los softwares que utilicen en las asignaturas de proyectos de la Facultad de Ingeniería.
- VI. Implementar en las asignaturas correspondientes de las distintas escuelas de la Facultad de Ingeniería el desarrollo de proyectos que complementen y amplíen el alcance de los productos de la compañía Bentley para los cuales se tiene licencia educativa, a través de la Red de Desarrolladores de Bentley (BDN) haciendo uso de la API.
- VII. Debido al gran potencial de interacción con otros softwares de las distintas disciplinas, se propone la apertura de una línea de investigación que logre potenciar todos los ámbitos de la programación bajo el uso de API.



BIBLIOGRAFÍA

1. **Alessandro D. Sole, (2015).** Visual Basic Unleashed. **Recuperado de:** www.mybook.com/unleashed Book Online at Low Prices in India / Visual Basic 2015 Unleashed Reviews & Ratings/345123-libro online.html.
2. **Canchari. (2009)** Interfaz de Programación para Aplicaciones del SAP2000 y Visual C# fundamentado en MathCad. (Tesis Doctoral) **Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, (Perú).**
3. **Campagnolo A.; Bruno A. y De Cristofaro S. Nicol. (2011).** Desarrollo de un Programa para el Diseño Estructural de Naves Industriales. (Tesis de Pregrado), **Universidad de Carabobo. Valencia-Edo. Carabobo.**
4. **Claude Digoou, (2016).** VBA 2016 Creando Aplicaciones Profesionales. **Recuperado de:** <http://www.ediciones-eni.com/practicas-tecnicas/leer-libro>.
5. **ETABS®, SAP2000® and CSiBridge® marcas registradas por la empresa (CSI) Computers and Structures, Inc. (2015).** HTML Help file “CSI API ETABS 2015”. **Recuperado de:** CSI ETABS 2015.
6. **Fernando O. Luna, (2015).** Visual Basic Guía Definitiva del Programador. **Recuperado de:** <http://www.fiuxy.net/ebooks-gratis/3651469-libro-visual-basic-redusers-espanol-descargar-pdf-gratis.html>.
7. **García, Sorto y Villalobos, (2009).** Manual de diseño de Naves Industriales Metálicas utilizando un Software Especializado. **Universidad de Carabobo. Valencia-Edo. Carabobo.**
8. **Marcos Merino, (2014).** ¿Qué es una API y para qué sirve? **Recuperado de:** <http://www.ticbeat.com/tecnologias/que-es-una-api-para-que-sirve/>



9. **Norma COVENIN-MINDUR, (2003-89).** Acciones de Viento sobre las Construcciones.
10. **Ligas S. y Younes J, (2011).** Programa para el Diseño de Conexiones Sismo-resistente en Estructuras Metálicas. **Universidad de Carabobo. Valencia-Edo. Carabobo.**



ANEXOS

A.1 Acciones de viento

A continuación, se presenta un breve resumen de los criterios generales hipótesis y pasos a seguir para la obtención de dichas acciones según la norma COVENIN-2003-89 “Acciones de viento sobre las construcciones”, basadas en las normas americanas ANSI A58.1-1982.

Para facilitar la aplicación de estas normas, en el capítulo C-1 del comentario se indica el procedimiento general para la determinación y obtención de las acciones eólicas.

A.1.1 Validez y Alcance (Capítulo C-1 NORMA COVENIN-MINDUR 2003-89):

- Indica las bases y procedencias de la norma en estudio COVENIN-MINDUR 2003-89, están basadas fundamentalmente en la sección 6 de las Normas ANSI A58.1-1982 (American National Standards Institute), y algunos aspectos orientados de acuerdo al capítulo XXXVIII “Diseño por Viento” del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, México de 1976.
- Presenta algunas consideraciones o efectos importantes según sea el caso, que deberán tomarse en cuenta en las construcciones sometidas a la acción del viento, como:



- Empujes y succiones estáticos, tanto los locales utilizados para un elemento estructural en particular, como los generales para la estructura en conjunto.
 - El efecto turbulencia debido a las fluctuaciones en la velocidad del viento, el cual se manifiesta en vibraciones paralelas y transversales a la dirección del viento.
 - Las vibraciones transversales en la dirección del viento causadas por el desprendimiento de vórtices en forma alterna.
 - Efectos que dependen de estudios especializados tales como la inestabilidad aerodinámica, el aleteo, etc., como se señala en el artículo C-4.2.
- Presenta el procedimiento general para la aplicación de dicha norma, para ello se mencionan a continuación *cuatro (4) pasos (A, B, C, D)*; en los cuales se integró el desglose en detalle de los capítulos y artículos que en estos pasos se hacen referencia, de esta manera el procedimiento será:



- **Definir los criterios de análisis y diseño, de acuerdo a las especificaciones del capítulo 3. Del dicho capítulo se tiene:**

Criterios Generales:

- *Hipótesis sobre la acción del viento:*

Indica las hipótesis básicas que consideran las acciones por el efecto del viento:

- El viento actúa en dos direcciones ortogonales entre sí, no se considera la superposición de las mismas. Se tomará en cuenta la dirección que sea más desfavorable para la estructura.
- La fuerza resultante de la acción del viento coincide con el centro de presiones del área expuesta. Según las características de la construcción se podrá tomar en cuenta los efectos torsionales en planta.
- Se estudiará la construcción como si estuviese completamente aislada, sin tomar en cuenta construcciones adyacentes. Se debe tomar en cuenta cualquier incremento en sus secciones, empujes o efectos desfavorables.



- *Relación con otras normas COVENIN-MINDUR:*

Indica que las acciones en la norma son cargas de servicio, y estas no están multiplicadas por los factores de mayoración. En general no es necesario considerar las acciones simultáneas del viento y del sismo.

Criterios generales de estabilidad:

- *La estabilidad de los sistemas resistentes al viento:*

Se emplean únicamente las acciones externas. Para construcciones del Tipo I donde puedan producirse acciones internas significativas ver la Tabla 2.



Tabla 3. Acciones en sistemas resistentes al viento.

ACCIONES EN SISTEMAS RESISTENTES AL VIENTO

Tipo de Construcción		Presiones o Fuerzas
I	Cerrada	Barlovento: $P_z = q_z G_h C_p$ (6.2a) Sotavento: $P_h = q_h G_h C_p$ (6.2b) En el caso de estructuras de un solo piso y similares se incluirá el efecto de las acciones internas y se verificarán las siguientes fórmulas: Barlovento: $P_z = q_z G_h C_p - q_h G C_{pi}$ (6.2c) Sotavento: $P_h = q_h G_h C_p - q_h G C_{pi}$ (6.2d)
		II
III	Cerrada	Barlovento: $P_z = q_z G_h C_p$ (6.2a) Sotavento: $P_h = q_h G_h C_p$ (6.2b)
	Abierta	$F = q_z G_h C_f A_f$ (6.3)
IV	Cerrada o Abierta	Requiere estudios especiales, pero las acciones no serán menores que las correspondientes al Tipo III

Fuente: COVENIN – MINDUR 2003-89



- *La estabilidad contra el volcamiento:*

Cuando se produzcan acciones mayores a las dos terceras partes de la compresión por acciones permanentes en algún elemento de fundación, se deberá anclar adecuadamente.

- *La estabilidad contra el deslizamiento:*

Indica que cuando la acción del viento es mayor a la fuerza resistente al deslizamiento se deberá realizar el anclaje pertinente para resistirlo. Para evaluar la fuerza resistente total se suponen nulas las acciones variables.

- *La estabilidad de los componentes y cerramientos:*

Se analiza bajo la combinación de las acciones internas y externas según las formulas indicadas en la Tabla 3.

- *La estabilidad durante las etapas de montaje y construcción:*

Establece que para el momento de montaje y construcción de la estructura se deberá disponer en la estructura sistemas de arrostramiento que aseguren de manera adecuada a la misma de las acciones del viento en elementos estructurales como en no estructurales.



Tabla 4. Acciones en componentes y cerramientos.

ACCIONES EN COMPONENTES Y CERRAMIENTOS

Tipo de Construcción		Presiones o Fuerzas
I	Cerrada	<p>Para $h \leq 20$ m :</p> $P = q_h GC_{pe} - q_h GC_{pi} \quad (6.4)$ <p>Para $h > 20$ m :</p> <p>Barlovento:</p> $p = q_z (+GC_{pe}) - q_z GC_{pi} \quad (6.5a)$ <p>Sotavento:</p> $p = q_h (-GC_{pe}) - q_z GC_{pi} \quad (6.5b)$
		<p>II</p> <p>Abierta</p> $F = q_z G_z C_f A_f \quad (6.6)$
		<p>III</p> <p>Cerrada</p> <p>Barlovento:</p> $p = q_z (+GC_{pe}) - q_z GC_{pi} \quad (6.5a)$ <p>Sotavento:</p> $p = q_h (-GC_{pe}) - q_z GC_{pi} \quad (6.5b)$
	<p>Abierta</p> $F = q_z G_z C_f A_f \quad (6.6)$	
IV	Cerrada o abierta	<p>Requiere estudios especiales, pero las acciones no serán menores que las correspondientes al Tipo III</p>

Fuente: COVENIN – MINDUR, 2003-89

- Clasificar la construcción según su uso, según lo indicado en el (Artículo 4.1), y en relación a sus características de respuesta ante la acción del viento, de acuerdo a lo especificado en el (Artículo 4.2). De lo indicado en el capítulo 4 se tiene:



Clasificación de las construcciones según el uso y las características de respuesta ante la acción del viento:

- *Clasificación según el uso:*

Establece que las acciones aplicadas en la norma son en función del grado de seguridad recomendable para las construcciones, implícito en la clasificación según el uso mostrado a continuación.

Básicamente la clasificación según el tipo de edificación es decir el uso dispuesto para estas, se presenta en orden jerárquico según la importancia de la estructura.

• *Grupo A:*

Son aquellas construcciones cuya falla puede causar cuantiosas pérdidas humanas o económicas, o que contienen instalaciones esenciales cuyo funcionamiento, es vital en condiciones de emergencia, tales como:

- Hospitales, puestos de emergencia o centros de salud en general.
- Estaciones de bomberos o de policía e instalaciones militares.
- Centrales eléctricas y de telecomunicaciones.
- Torres de transmisión y antenas.
- Estaciones de bombeo y depósitos de agua.



- Tanques elevados y chimeneas.
- Redes de distribución de agua, gas, electricidad, etc.
- Edificaciones gubernamentales o municipales de importancia.
- Institutos educacionales en general.
- Depósitos de materias tóxicas o explosivas y centros que utilicen materiales radioactivos.
- Edificaciones que contienen objetos de valor excepcional, tales como museos y bibliotecas.
- Monumentos y templos de valor histórico.

Incluyendo en este grupo aquellas construcciones que impliquen aglomeraciones de más de 300 personas con cierta frecuencia, tales como: cines, teatros, auditorios, estadios, etc.

- *Grupo B:*

Aquellas construcciones que pertenecen a uso público o privado, tales como:

- Viviendas unifamiliares y bifamiliares en general.
- Edificios destinados a viviendas, oficinas, comercios y actividades similares.
- Plantas e instalaciones industriales.
- Almacenes y depósitos en general.



Incluye también todas aquellas construcciones cuyo colapso puedan poner en riesgo a las construcciones incluidas en este grupo a las del grupo A.

- *Grupo C:*

Este grupo incluye todas aquellas construcciones que no son clasificables en los grupos anteriores, no destinadas a uso como habitación o al uso público, y cuyo colapso no pueda causar daños a las construcciones.

- *Usos Mixtos:*

Aquellas construcciones que no contengan áreas correspondientes a las mencionadas anteriormente, se ubicaran en el grupo más desfavorable.

- *Factor de Importancia Eólica:*

Según la clasificación mencionada anteriormente se establece un factor de importancia eólica (α) como se muestra en la Tabla 4.



Tabla 5. Factor de Importancia Eólica.

Grupo	α
A	1,15
B	1,00
C	0,90

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación según las características de respuesta:

Según los efectos que pueden causar las acciones del viento en las construcciones y el comportamiento de su incidencia debido a la geometría de estas, se clasifican de la siguiente forma:

- TIPO I:
Comprende las construcciones cerradas poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, y a aquellas cerradas cuya esbeltez sea menor o igual a 5 o cuyo periodo natural de vibración sea menor o igual a 1 segundo. Están comprendidas en este tipo las construcciones de cubiertas de láminas, con una o más fachadas abiertas destinadas a naves industriales, teatros, auditorios, depósitos, etc.



Y otras construcciones cerradas destinadas a usos similares. También se incluyen las cubiertas estructurales rígidas, aquellas capaces de resistir las acciones debidas al viento sin variar sustancialmente su geometría.

- TIPO II:
Aquellas construcciones abiertas cuya esbeltez sea menor o igual a 5 o que tengan un periodo natural de vibración menor o igual a 1 segundo. Tales como las torres y antenas atirantadas en voladizo, los tanques elevados, los parapetos y las vallas.
- TIPO III:
Son construcciones especialmente sensibles a las ráfagas de corta duración las cuales favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes. Comprende construcciones del tipo I y tipo II cuya relación de esbeltez sea mayor a 5 o cuyo periodo natural de vibración sea mayor a 1 segundo, o las que por geometría sean propensas a fuertes vibraciones.
- TIPO IV:
Implican aquellas construcciones que presentan problemas aerodinámicos particulares, tales como cubiertas colgantes excluidas del tipo I, las formas aerodinámicas inestables, las construcciones flexibles con varios periodos de vibración próximos entre sí, etc.



- **Obtención de los parámetros según la zonificación eólica, siendo estos “la velocidad básica” del viento, tomada a partir de lo indicado en el artículo 5.1, y el Tipo de Exposición correspondiente al sitio donde se ubica la construcción, según los establecen los artículos 5.2 y 5.3. Según lo indicado en el capítulo 5 se tiene:**

- *Parámetros que dependen de la zonificación Eólica:*

En la normativa venezolana COVENIN-MINDUR 2003-89, la “velocidad básica” del viento esta denotada con la letra V, definida como la velocidad correspondiente al tiempo patrón de recorrido del viento medida a 10 m sobre un Terreno de Tipo de Exposición C asociada a un periodo de retorno de 50 años, para su determinación según la región o zona de ubicación se puede realizar mediante el uso de la Tabla 5, o el mapa de zonificación indicado en la Figura 4, teniendo en consideración las excepciones mostradas en los artículos 5.1.1 y 5.1.2. Es importante saber que en ningún caso la velocidad básica será menor a 70 km/h.



Tabla 6. Velocidad Básica del Viento por Localidad.

Localidad	V (Km/h)	Localidad	V (Km/h)
ANZOATEGUI	85	MÉRIDA	70
Barcelona		Mérida	
APURE	87	MONAGAS	102
Guasualito		Maturín	
San Fernando		85	
		NUEVA ESPARTA	70
ARAGUA	70	Porlamar	
Colonia Tovar		70	
Maracay		72	
		PORTUGUESA	70
BOLIVAR	77	Acarigua	
Ciudad Bolívar		Guanare	
Sta. Elena de Uairen		74	
Tumeremo		80	
		SUCRE	79
CARABOBO	70	Cumana	
Morón		70	
Puerto Cabello		70	
		TÁCHIRA	83
DISTRITO FEDERAL	78	Cólon	
Caracas		La Grita	
La Orchilla		San Antonio	
Maiquetía		93	
		TERRITORIO FEDERAL AMAZONAS	83
FALCÓN	95	Puerto Ayacucho	
Coro		ZULIA	
		La Cañada	103
		Maracaibo	96
GUARICO	73	Mene Grande	81
Carrizal			
		LARA	100
Barquisimeto	100		

Fuente: Elaboración propia.

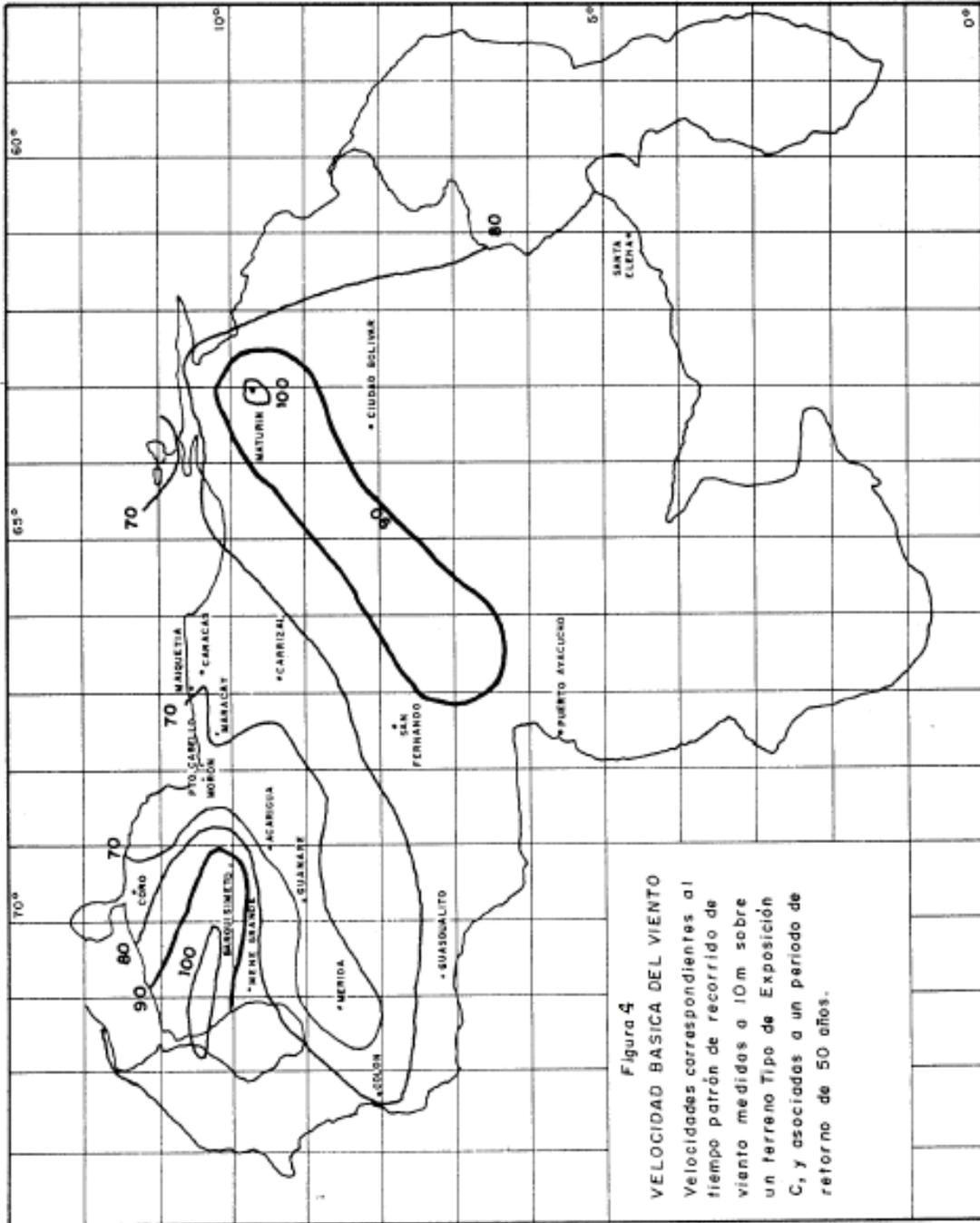


Figura 41. Mapa de Velocidades Básicas de Viento en Venezuela. Fuente: Norma COVENIN-MINDUR 2003-89.



- *Regiones con condiciones especiales de viento:*

Se tomarán consideraciones especiales para aquellas zonas donde las condiciones o la experiencia indique que las velocidades exceden a las que se muestran en el mapa de la Figura 4.

En todos los terrenos montañosos, los desfiladeros, promontorios oceánicos, etc., se realizarán los estudios adecuados para determinar las condiciones especiales del viento y cuando las autoridades competentes lo justifiquen necesario, en tal caso se deberán ajustar las velocidades básicas del viento indicadas en la Tabla 5 y en la Figura 4 del mapa para considerar velocidades del viento más elevadas. Es estos casos se obtendrán las velocidades a partir de la información meteorológica apropiada de acuerdo con los requisitos mostrados en el artículo 5.1.2.

Es importante destacar que, en las zonas costeras, o en las localidades que a juicio de las autoridades competentes sean asimilables a las condiciones de estas zonas, el factor de importancia eólica α , dado en la tabla 4.1.2., se incrementara en un 10%.



- *Tipos de Exposición:*

El tipo de exposición se determina en función del sitio donde se edificará la construcción y se seleccionará tomando en cuenta las características de las irregularidades en la superficie del terreno. Se clasifican de acuerdo con las características generales que se describen a continuación:

- *Clasificación según el uso:*

- Tipo A:

Este Tipo corresponde a grandes centros urbanos donde al menos un 50% de las construcciones tiene alturas superiores a 20 metros. Se atribuye este Tipo a las áreas las cuales prevalecen esas características en la dirección desde donde sopla el viento, por lo menos en una distancia que sea el mayor valor entre 800 metros o 10 veces la altura de la construcción en estudio.

Se tomarán en cuenta los posibles efectos de canalización o incrementos en la presión dinámica cuando la construcción en estudio esté ubicada detrás de construcciones adyacentes.



- Tipo B:

Este Tipo incluye a las áreas urbanas, suburbanas, boscosas u otros terrenos con numerosas obstrucciones que tengan las dimensiones usuales de viviendas unifamiliares con altura promedio no superior a 10 m. Se clasifican en este Tipo las áreas en las cuales se presentan esas características en la dirección desde donde sopla el viento, por lo menos en una distancia que sea el mayor valor entre 500 metros y 10 veces la altura de la construcción en estudio.

- Tipo C:

Este tipo corresponde a las planicies, los campos abiertos, las sabanas y terrenos abiertos con obstrucciones dispersas cuya altura en general no sobrepasa de 10 metros.

- Tipo D:

Se clasifican en este Tipo las áreas planas del litoral que no tengan obstrucciones y que estén expuestas a vientos que soplan sobre grandes masas de agua. Comprende este Tipo las áreas con las características descritas y ubicadas con relación a la costa a una distancia que sea el mayor valor entre 500 metros y 10 veces la altura de la construcción en estudio.



Selección del Tipo de Exposición:

- *Sistemas resistentes al viento:*

Para este caso se tomarán para la clasificación del tipo de exposición todas las consideraciones indicadas en el capítulo 5.2. Si los tipos de exposición varían en diferentes direcciones, o cuando la clasificación del sitio no corresponde con todas las características tipificadas, o cuando sea dudosa su clasificación, se utilizará el tipo de exposición que conduzca a las acciones más desfavorables para el sistema resistente al viento.

- *Componentes y Cerramientos:*

El tipo de exposición para los componentes y cerramientos se relacionará con el tipo de construcción a la cual pertenecen, como se indica en la Tabla 6.



Tabla 7. Tipo de Exposición para Componentes y Cerramientos.

TIPOS DE EXPOSICION PARA LOS COMPONENTES Y CERRAMIENTOS

TIPO DE EXPOSICION DE LA CONSTRUCCION			A	B	C	D
			TIPO DE CONSTRUCCION			
I	Cerradas	$h \leq 20 \text{ m}$	C	C	C	C
		$h > 20 \text{ m}$	B	B	C	D
II	Abiertas	Para todo valor h	B	B	C	D
III	Abiertas	Para todo valor h	B	B	C	D
	Cerradas	$h \leq 20 \text{ m}$	C	C	C	C
		$h > 20 \text{ m}$	B	B	C	D

Fuente: COVENIN – MINDUR, 2003-89

- **Cuantifique las acciones siguiendo los procedimientos contemplados en el capítulo 6. En dicho capítulo se detalla el procedimiento de cálculo para obtener el valor de la carga de viento aplicada (W).**

Determinación de las acciones por los efectos del Viento:

Las acciones por efectos del viento para los sistemas resistentes al viento, los componentes estructurales individuales y los cerramientos se determinan haciendo uso de los siguientes procedimientos:



- Analíticos.
- Experimentales en túneles de viento.

En el presente trabajo se realizará el cálculo mediante procedimientos analíticos.

Procedimiento Analítico:

- *Alcance:*

Los requisitos de este artículo se aplican en general a todas las construcciones. En los casos de formas geométricas poco usuales, de construcciones con características de respuesta susceptibles de generar oscilaciones importantes ante la acción del viento, o de ubicaciones en sitios donde los efectos de canalización o los embates del viento que se producen detrás de obstrucciones a barlovento puedan requerir de consideraciones especiales, el proyectista se podrá referir a una bibliografía suficientemente reconocida para documentarse en relación a las acciones por efecto del viento o aplicar un método experimental en túneles de viento si así fuere el caso.

- *Acciones:*

Las acciones de servicio por efecto del viento se determinan mediante la expresión general:

$$W = q \times G \times C_p \times A_t$$

(2-F1)

Donde:



W: Magnitud de empuje o succión, valor resultante de la acción del viento aplicada en los componentes de la estructura.

q: Presión dinámica ejercida por el viento de “Velocidad Básica” V sobre la proyección de la superficie el plano normal a su dirección, donde dicha velocidad se anula.

G: Factor de respuesta ante ráfaga para considerar la naturaleza fluctuante del viento y su interacción con las construcciones.

Cp: Coeficiente de empuje o succión que dependerá de la forma de la construcción.

At: Área de la superficie expuesta o área proyectada sobre un plano normal a la dirección del viento.

- *Acciones mínimas:*

La acción del viento para las condiciones de servicio para los sistemas resistentes al viento no será menor de 30 KgF/m² aplicada al área proyectada de la construcción sobre un plano vertical que sea vertical a la dirección del viento.



El cálculo de las acciones de viento en condiciones de servicio para los componentes y cerramientos de las construcciones clasificadas del Tipo I y Tipo III cerradas, se tomará en consideración la diferencia de efectos entre las fachadas opuestas, pero en ningún caso las acciones resultantes serán menores a 30 KgF/m² actuando en

cualquiera de las dos direcciones normales a la superficie. Para los componentes y cerramientos de las construcciones clasificadas como Tipo II y Tipo III abiertas, las acciones del viento en condiciones de servicio no serán menores de 30 KgF/m² aplicada al área proyectada Af sobre un plano normal proyectado a la dirección del viento.

- *Presión Dinámica:*

La presión dinámica (q), en KgF/m², será evaluada de forma diferente para fachadas a barlovento y a sotavento, esta información se ve de forma más detallada en la Tabla 10 y Tabla 11, mostradas más adelante.

Para fachadas a barlovento (q) varía en función de la altura (z), sobre el terreno aplicando la siguiente expresión:

$$q = 0,00485 \times Kz \times \alpha \times V^2$$

(2-F2)



Donde:

K_z : Coeficiente de exposición a la presión dinámica del viento evaluado a una altura z sobre el terreno.

α : Factor de importancia eólica, en grados.

V : Velocidad básica del viento, Km/h; Véase Tabla 5 o la Figura 4.

Para determinar K_z , aplicamos la siguiente expresión:

$$K_z = 2,58 \left(\frac{4,50}{z_g} \right)^{2/\beta} \text{ para } z \leq 4,50 \text{ m} \quad (2-F3)$$

$$K_z = 2,58 \left(\frac{z}{z_g} \right)^{2/\beta} \text{ para } z > 4,50 \text{ m} \quad (2-F4)$$

Donde:

z : Altura sobre el nivel del terreno, m.

z_g : Altura del gradiente en el perfil de velocidades del viento, m.

β : Factor que se utiliza en el exponente de las fórmulas para calcular K_z , δh y δz ; véase la Tabla 8 También ángulo auxiliar para el cálculo de las fuerzas sobre tirantes de mástiles y torres atirantadas, en grados.



Para fachadas a sotavento (q) es constante y se evaluará a la altura (h) sobre el terreno según la expresión:

$$q = 0,00485 \times K_h \times \alpha \times V^2 \quad (2-F5)$$

Donde:

$$K_h = 2,58 \left(\frac{h}{z_g} \right)^{2/\beta} \quad (2-F6)$$

Los valores de (z_g) y (β) se determinarán mediante el uso de la Tabla 7 mostrada a continuación, donde, simplemente conociendo la clasificación según el tipo de exposición de determinan los valores ya tabulados.

Tabla 8. Constantes para el cálculo de K_z y K_h .

Tipo de Exposición	Factor β	Altura z_g Metros
A	3.0	460
B	4.5	370
C	7.0	270
D	10.0	200

Fuente: Elaboración propia.

- *Factor de respuesta ante ráfagas:*



Se definen dos factores de respuesta ante ráfagas, G_h para los sistemas resistentes al viento y G_z para los componentes y cerramientos. Los factores de respuesta ante ráfagas definidos en esta sección no serán menores a 1.0.

Tabla 9. Coeficientes de exposición a la presión dinámica K_z o K_h , según COVENIN-MINDUR 2003 89.

Altura sobre el Terreno z o h metros	Tipo de Exposición			
	A	B	C	D
0 a 4,50	0,118	0,363	0,8	1,207
5	0,126	0,38	0,825	1,233
6	0,142	0,413	0,869	1,279
7	0,158	0,442	0,908	1,319
8	0,173	0,469	0,943	1,355
9	0,187	0,494	0,976	1,387
10	0,2	0,518	1,006	1,417
11	0,214	0,54	1,033	1,444
12	0,226	0,562	1,059	1,469
13	0,239	0,582	1,084	1,493
14	0,251	0,601	1,107	1,515
15	0,263	0,62	1,129	1,563

Fuente: Elaboración propia.

- *Sistemas Resistentes al Viento:*



Para los sistemas resistentes al viento de las construcciones clasificadas en los Tipos I y II, el factor de respuesta ante ráfagas G_h tiene un valor único para fachadas a barlovento y sotavento determinado como:

$$G_h = 0,65 + 3,65 \delta_h \quad (2-F7)$$

Siendo:

δ_h : Factor de exposición que representa la intensidad de la turbulencia, evaluado a la altura media del techo para construcciones del Tipo I o la altura total para construcciones del Tipo II. Se determina mediante la siguiente formula:

$$\delta_h = \frac{2,35 \sqrt{k}}{(h/9,0)^{1/\beta}} \quad (2-F8)$$

Donde:

k: Coeficiente de arrastre sobre una superficie, dado en la Tabla 9.

Tabla 10. Coeficientes de arrastre k sobre una superficie.



Tipo de Exposición	Coefficiente k
A	0,025
B	0,010
C	0,005
D	0,003

Fuente: Elaboración propia.

- *Componentes y Cerramientos:*

Para los componentes y cerramientos de las construcciones clasificadas como del Tipo I y Tipo III cerradas, los factores de respuesta ante ráfaga se combinan con los coeficientes de empuje y succión, externos e internos, resultando los valores de GC_{pe} y GC_{pi}. Para componentes y cerramientos de las construcciones clasificadas como Tipo I y Tipo II abiertas, el valor de respuesta ante ráfagas G_z se obtendrá con las siguientes formulas, siendo variable de acuerdo con la altura (z) del terreno:

$$G_h = 0,65 + 3,65 \delta_z \quad (2-F9)$$

Donde:

$$\delta_z = \frac{2,35 \sqrt{k}}{(z/9,0)^{1/\beta}} \quad (2-F10)$$



Siendo:

δz : Factor de exposición evaluado a una altura (z) sobre el terreno. En metros.

- *Coefficiente de Empuje y Succión:*

Los coeficientes de empuje y succión dependen principalmente de la forma geométrica de la estructura. Los coeficientes llevan un signo positivo o negativo, según se trate de un efecto de empuje o succión, respectivamente.

Los subíndices “e” o “i” indican si la acción es interna o externa a la construcción.

Para la determinación de los coeficientes C_p de empuje y succión externas para las fachadas y techos de los sistemas resistentes al viento de las construcciones clasificadas como Tipo I y III cerradas, se hace uso de las Tablas 10 y 11. La aplicación de dichas tablas está limitada para naves industriales de forma geométrica a una y dos aguas.



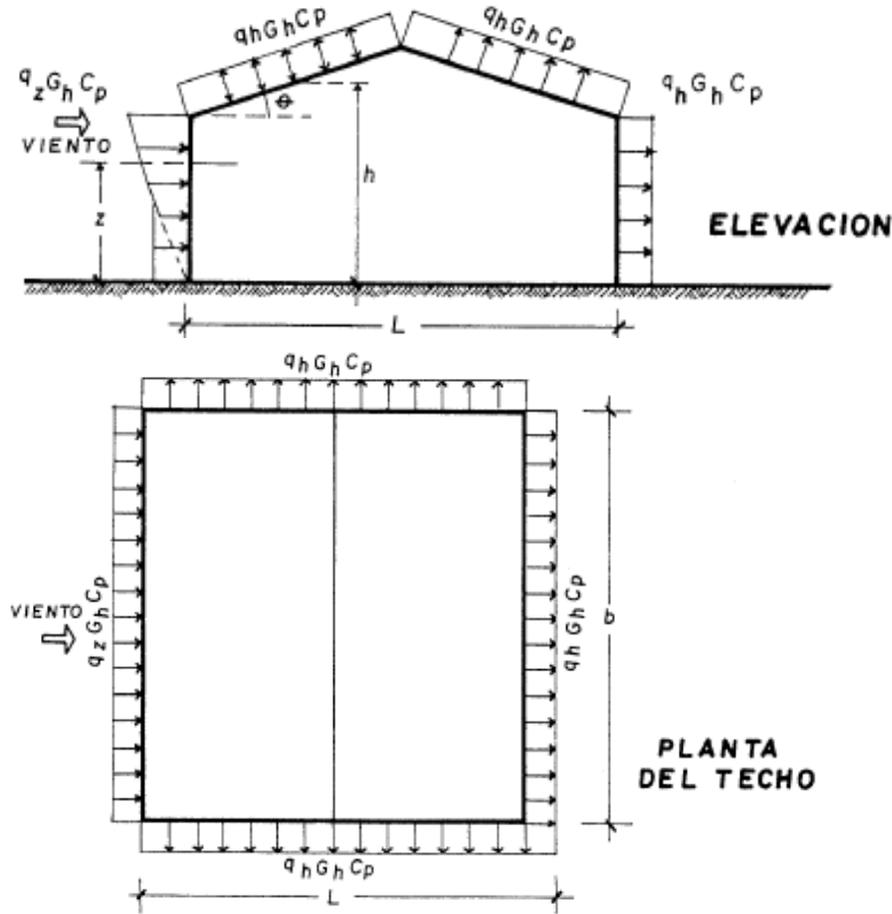
Estas Tablas son aplicables a construcciones con uno a mas lados abiertos y también para techos de construcciones cerradas de una vertiente.

Se considera según lo indicado en el comentario de la norma COVENIN-MINDUR 2003-89 para la determinación de las acciones externas los coeficientes de empuje y succión C_p , en naves industriales modulares de dos vertientes, el uso de la Tabla 12.

Debido a que realmente una nave industrial en sus cerramientos, jamás será 100% permeable, la norma considera un valor, resultante de la multiplicación del factor ante ráfagas y el coeficiente GC_{pi} de empuje o succión interna, definidos:

- Empuje (GC_{pi}) = 0,25
- Succión (GC_{pi}) = - 0,25

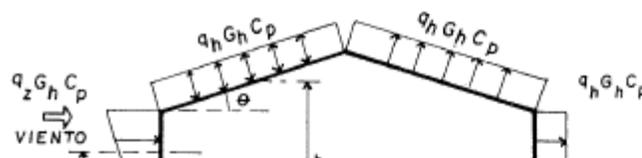
Tabla 11. Coeficiente C_p para el cálculo de las acciones externas en Naves Industriales a un agua y a dos aguas; Empuje y Succión para las fachadas.



COEFICIENTES DE EMPUJE Y SUCCIÓN C_p PARA LAS FACHADAS		
FACHADAS	RELACIÓN L/b	C_p
Barlovento	Todas	0.8
Sotavento	0 a 1	- 0.5
	2 y 3	- 0.3
	≥ 4	- 0.2
Laterales	Todas	-0.7

Fuente: COVENIN – MINDUR, 2003 - 89

Tabla 12. Coeficiente C_p para el cálculo de las acciones externas en Naves Industriales a un agua y a dos aguas; Empuje y Succión para techos.

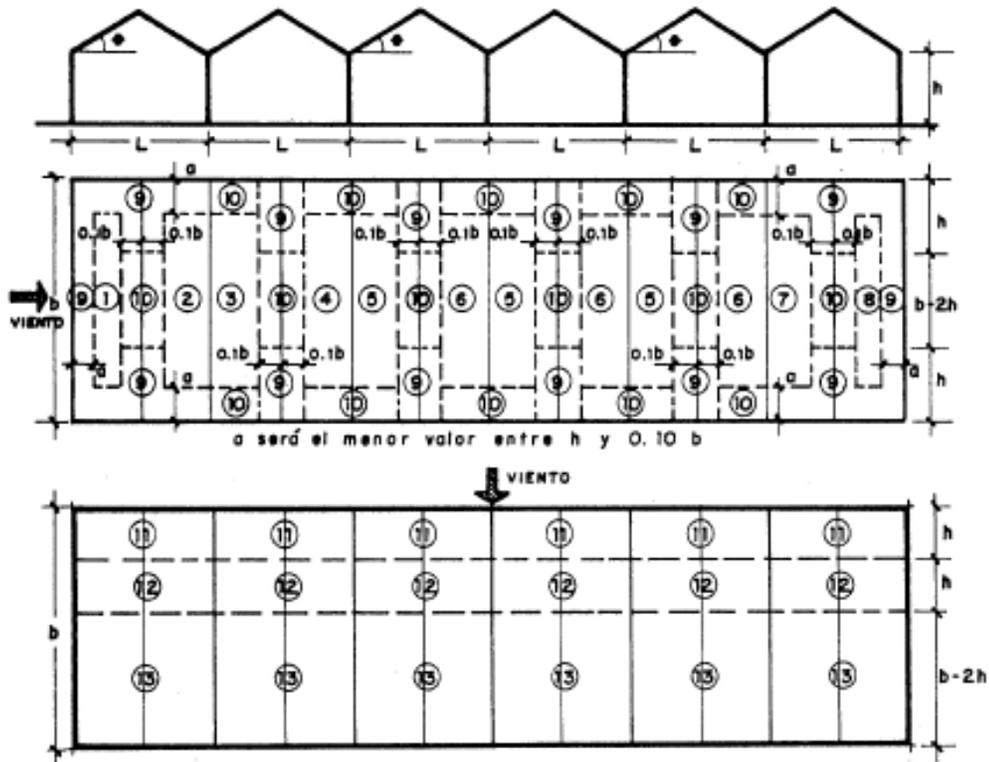




COEFICIENTES DE EMPUJE Y SUCCION C_p PARA LOS TECHOS									
DIRECCION DEL VIENTO	RELACION L/h	SUPERFICIE A BARLOVENTO							SUPERFICIE A SOTAVENTO
		ANGULO θ							
		0°	10°*	20°	30°	40°	50°	$\geq 60^\circ$	
Normal a la Cumbre	≥ 3	-0.7	0.2 -0.9	0.2	0.3	0.4	0.5	0.01 θ	- 0.7
	2		-0.9	-0.75	-0.2	0.3			
	1								
	≤ 0.7		-0.9	-0.9	-0.35	0.2			
Paralelo a la Cumbre	Todas	- 0.7							-

Fuente: COVENIN – MINDUR, 2003 - 89.

Tabla 13. Coeficiente C_p para el cálculo de las acciones externas en Naves Industriales modulares a dos aguas; Empuje y Succión para diversas zonas.



INCLINACION DEL TECHO ϕ	COEFICIENTES C_p PARA LAS DIVERSAS ZONAS							
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
5°	-0.9	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3
10°	-1.1	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4
20°	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.5
30°	-0.2	-0.6	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.2	-0.5
45°	+0.3	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	-0.4	-0.2	-0.5
INCLINACION DEL TECHO ϕ	COEFICIENTES $G C_p$			COEFICIENTES C_p				
	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬			
0° < ϕ ≤ 45°	-2.0	-1.5	-0.8	-0.6	-0.2			

Fuente: COVENIN – MINDUR, 2003-89.