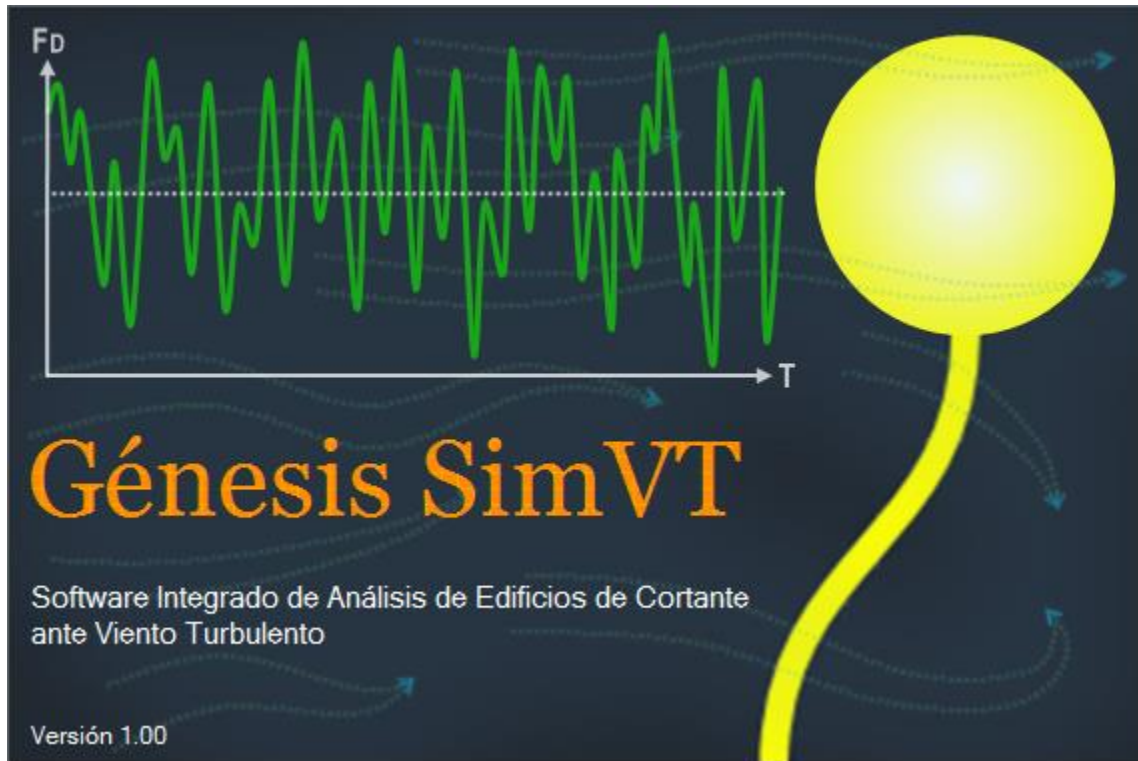




■ ■ Génesis SimVT ■ ■

Software Integrado de Análisis de Edificios de
Cortante ante Viento Turbulento

Guía del Usuario

Introducción

Génesis SimVT es un programa especializado que permite un manejo simple y organizado de la información para el cálculo de la respuesta ante viento, que contempla los códigos y normas más empleados en México (NTCDV-2004 y MOCDV-2008) y sirve como una herramienta tanto para estudiantes, profesores de la materia, investigadores e Ingenieros de la práctica, para poder evaluar la respuesta de las estructuras ante los efectos turbulentos del viento.

Está diseñado para analizar “Edificios de Cortante”, es decir, sistemas generalizados de uno o múltiples grados de libertad (1GL o MGL) que tienen su masa concentrada en el sistema de piso y axialmente rígidos. La estructura puede ser analizada siempre y cuando se proporcionen las propiedades del edificio, tales como la rigidez y masa. Los temas importantes en los que se centra este programa son: Análisis Estático y Análisis Dinámico. Con este programa se pueden obtener las respuestas de desplazamientos, aceleraciones, cortantes y distorsiones de entrepiso entre otras únicamente a edificios regulares, es decir, prismáticos.

Este programa es una herramienta bastante útil y ofrece una alternativa para estimar la respuesta de las estructuras ante el viento turbulento; sin embargo, debe tenerse cuidado y conocimiento sobre el tema al momento de usarse, como es el caso de cualquier otro programa de computadora.

Instalación del Programa

Para ejecutar el programa “*Génesis SimVT*” correctamente se requiere que el equipo cuente con los siguientes requisitos mínimos:

Procesador	Pentium II, 450 MHz
RAM	Windows 2000 Professional: 96 MB; Windows 2000 Server: 192 MB; Windows XP Home: 96 MB; Windows XP Professional y Server 2003: 192 MB
Espacio disponible en disco duro	10 Mb
Resolución mínima de pantalla	1024 x 768 pixeles, 256 colores

El programa se encuentra en un archivo “.rar” que al descomprimirlo se encontramos con los siguientes tres archivos:

- ❖ “*GénesisSimVT*”, este archivo contiene el programa y no necesita instalarse en la computadora, ya que es un programa auto-extraíble, solamente le damos doble clic o “Enter” y el programa se iniciará al instante.
- ❖ “*AyudaGenSimVT*”, este es un archivo de ayuda del programa.
- ❖ “*Pre Requisitos*”, esta carpeta contiene un archivo llamado “*VisualBasicPowerPackSetup*” que se debe instalar antes en el equipo para que el programa pueda ejecutarse correctamente.

Controles principales

Barra de Menús

Menú “Archivo” (Figura 1):

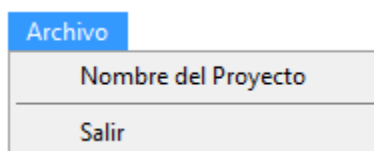


Figura 1. Menú “Archivo”

Nombre del Proyecto: Especifica un nombre al Proyecto.

Salir: Cierra el programa.

Menú “Modelo” (Figura 2 y 3):

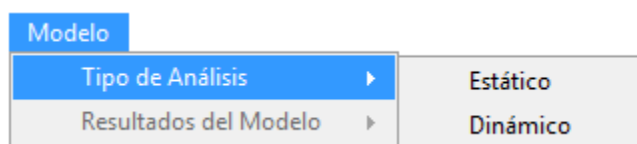


Figura 2. Menú “Modelo” y Submenú “Tipo de Análisis”

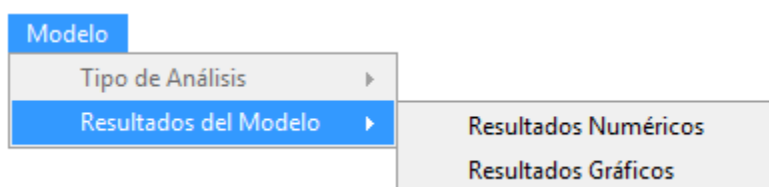


Figura 3. Menú “Modelo” y Submenú “Resultados del Modelo”

Tipo de Análisis / Estático: Abre la ventana “Análisis Estático” para empezar dicho análisis.

Tipo de Análisis / Dinámico: Abre la ventana “Análisis Dinámico” para empezar dicho análisis.

Resultados del Modelo / Resultados Numéricos: Abre la ventana “Resultados Numéricos del Modelo” donde se muestran los resultados del análisis ya sea estático o dinámico ordenado en forma de Tabla.

Resultados del Modelo / Resultados Gráficos: Abre la ventana “Resultados Gráficos del Modelo” donde se muestran los resultados del análisis dinámico en forma de gráficas y escaladas.

Menú “Ayuda” (Figura 4):

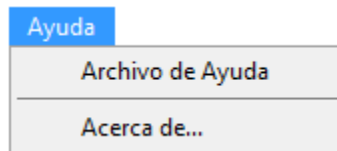


Figura 4. Menú “Ayuda”

Archivo de Ayuda: Abre el archivo de ayuda “AyudaGenSimVT” que es el presente archivo.

Acerca de...: Abre una ventana donde se muestra la información del programa.

Barra de Herramientas

Botón “Desbloquear controles” (Figura 5):



Figura 5. Botón “Desbloquear Controles”

Desbloquear controles: Se activa cuando se realiza un análisis y al presionarlo descarta dicho análisis y desbloquea los controles para modificar las propiedades del oscilador y realizar un nuevo análisis.

Botón “Análisis Estático” (Figura 6):



Figura 6. Botón “Análisis Estático”

Análisis Estático: Abre la ventana “Análisis Estático” para empezar dicho análisis.

Botón “Análisis Dinámico” (Figura 7):



Figura 7. Botón “Análisis Dinámico”

Análisis Dinámico: Abre la ventana “Análisis Dinámico” para empezar dicho análisis.

Botón “Resultados Numéricos del Modelo” (Figura 8):



Figura 8. Botón “Resultados Numéricos del Modelo”

Resultados Numéricos del Modelo: Abre la ventana “Resultados Numéricos del Modelo” donde se muestran los resultados del análisis ya sea estático o dinámico ordenado en forma de Tabla.

Botón “Resultados Gráficos del Modelo” (Figura 9):



Figura 9. Botón “Resultados Gráficos del Modelo”

Resultados Gráficos del Modelo: Abre la ventana “Resultados Gráficos del Modelo” donde se muestran los resultados del análisis únicamente dinámico en forma de gráficas y escaladas.

Botón “Generar Archivo de Texto” (Figura 10):



Figura 10. Botón “Generar Archivo de Texto”

Generar Archivo de Texto: Abre la ventana “Generar Archivo de Texto” en donde se selecciona los resultados con los que se desea llenar el archivo de texto y finalmente lo guarda en un archivo .rtf.

Control de Unidades

Botón “Unidades” (Figura 11):

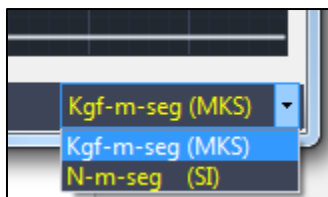


Figura 11. Botón “Unidades”

Unidades: Cambia las unidades en que se especifican las propiedades del oscilador y los resultados del análisis donde: “Kgf” son Kilogramos fuerza, “N” Newtons,, “m” metros y “seg” segundos nuevo análisis.

Análisis Estático

Propiedades del Oscilador

Propiedades del Oscilador (Figura 12):

Una vez ejecutado el programa y desplegado el formulario principal, lo primero que haremos es indicar el tipo de unidades que deseemos utilizar; para ello seleccionaremos el menú desplegable que está en la esquina inferior derecha para seleccionar si deseamos utilizar unidades MKS (Kgf-m-seg) o SI (N-m-seg), es decir, si queremos usar las fuerzas como Kilogramos fuerza o Newtons, como se muestra en la Figura 11.

Propiedades del Oscilador

Rigidez, Masa y Altura del GL/Entrepiso

	M (kgf-s ² /m)	K (kgf/m)	H (m)
► 1	4626	1785827	3
2	4626	1785827	3
3	4626	1785827	3
4	4626	1785827	3
5	4626	1785827	3

No. de GL: 5

Amortiguamiento: Clásico

ζ para todos los modos.

$\zeta =$ 0.05

Figura 12. Recuadro donde se especifica las propiedades del oscilador.

Enseguida indicaremos el número de GL o entrepisos que tendrá nuestra estructura, que está restringido a 15 GL, esta opción se encuentra en la esquina superior derecha del cuadro de “Propiedades del oscilador”, como se muestra en la Figura 12.

Después indicaremos las propiedades de la estructura que son: la masa (M), rigidez (K) y altura (H) de cada GL, las unidades de estos valores se encuentra en el encabezado de cada columna; la altura de cada GL o entrepiso se requiere para calcular la Velocidad de Viento de Diseño con las NTCDV-2004 y MOCDV-2008 y para calcular el momento de volteo de la estructura; aunque la masa no se requiere para calcular los desplazamientos estáticos de la estructura, es necesaria para calcular la frecuencia del primer modo que se utiliza para determinar el Factor de Amplificación Dinámica y la Aceleración máxima; esta tabla de propiedades se muestra en la Figura 12. Para un Análisis Estático no es necesario especificar el tipo de amortiguamiento ni la fracción de amortiguamiento crítico (como lo advierte el lector).

Para representar la estructura como oscilador se considera el marco rígido de un nivel de la Figura 13 en el que la masa se concentra en el sistema de piso, las columnas se consideran sin masa, un amortiguador viscoso que equivale a todos los mecanismos de amortiguamiento presentes en la estructura (Figura 13a) y el sistema de piso axialmente rígido, considerando solo desplazamiento horizontal (Figura 13c).

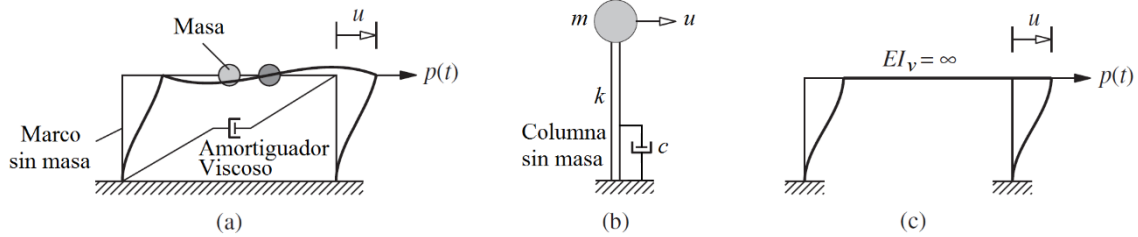


Figura 13. a) Representación de un modelo de 1GL de un marco rígido; b) Oscilador de 1GL idealizado; c) Desplazamiento horizontal de un marco con diafragma rígido.

Las propiedades de la estructura que se especifican en la Figura 12, el programa las ordena de la sig. manera. La matriz de rigidez de un oscilador de MGL se simplifica como la suma de las rigideces laterales de todas las columnas de tal entrepiso, por lo que establecemos la matriz de rigidez como la ec. (E0.1)

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & \\ -k_2 & k_2 + k_n & -k_n \\ & -k_n & k_n \end{bmatrix} \quad (E0.1)$$

Tomando en cuenta la estructura idealizada que se presentó anteriormente (Figura 13), podemos considerar la matriz de masa (ec. E0.2) como una matriz diagonal.

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & & \\ & m_2 & \\ & & m_n \end{bmatrix} \quad (E0.2)$$

Opciones de la Tabla

Al hacer clic derecho en una casilla se abrirá una submenú con las siguientes dos opciones:

“Copiar a celdas vacías” (Figura 14a)

Con esta opción se copiará el valor seleccionado a todas las celdas vacías de la columna, esto es para los niveles que tienen el mismo valor ya sea de masa, rigidez y altura en varios niveles.

“Borrar...” (Figura 14b)

La opción de “Borrar...” contiene dos sub-opciones más, que son, “Columna” y “Todo”; la sub-opción de “Borrar Columna” como su nombre lo dice, borra el contenido de la columna seleccionada; “Borrar Todo” borra todo el contenido de la Tabla.

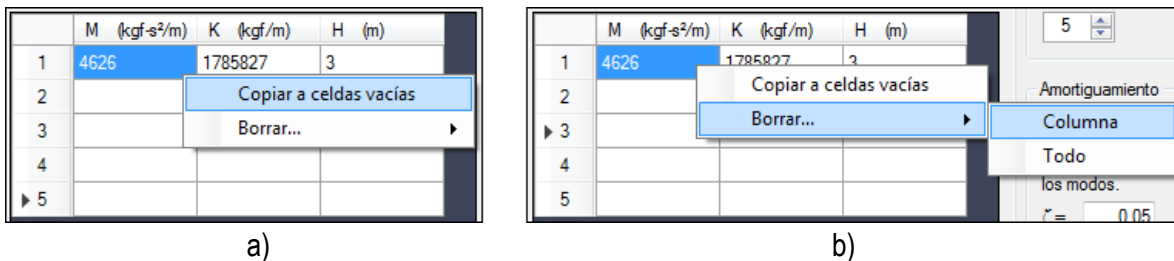


Figura 14. a) Opción “Copiar a celdas vacías”; b) Opción “Borrar...” para borrar una columna o toda la tabla.

Fuerzas de Arrastre

Al presionar el botón “Análisis Estático” y abrirse dicha ventana se especifican los parámetros necesarios para calcular las Fuerzas de arrastre según la metodología (NTCDV-2004, MOCDV-2008 o Método Analítico) que seleccionemos; en esta ventana indicamos algunos parámetros de la estructura como Importancia de la construcción, Rugosidad y Topografía del terreno, el área expuesta donde impacta el viento y el coeficiente de arrastre, con los que se calcula únicamente las Fuerzas de Arrastre que se explicaran a detalle a continuación.

Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento (NTCDV-2004)

Pestaña NTC para calcular las Fuerzas de Arrastre (Figura 15):

The screenshot shows a software window titled "Análisis Estático" with a tab labeled "NTC". The window is divided into several sections for inputting parameters:

- Cálculo de las Fuerzas:** Includes tabs for "NTC", "MOC", and "Met. Analítico".
- Velocidad Regional, VR:** Fields for "Importancia de la construcción:", "Zonificación Eólica:", and "Velocidad Regional: VR = [] m/s".
- Rugosidad del Terreno, α y δ :** Fields for "Tipos de terreno:", " α = []", and " δ = [] m".
- Factor de Topografía y Rugosidad del Terreno FTR:** Fields for "Tipos de topografía:" and "FTR = []".
- Área Expuesta:** Fields for "Constante (Edificio Prismático)" and "B = [] m".
- Coefficiente Local de Presión:** Fields for "Construcción cerrada", "Cp (Barlovento) = 0.8", and "Cp (Sotavento) = -0.4".
- Factor de Amplificación Dinámica, G:** Includes a checked box "Considerar Factor de Amplificación Dinámica, G" and fields for "R = []", "a = []", and "n = []".
- Tipo de Estructura:** A dropdown menu set to "Estructura de Concreto".
- Fracción de Amortiguamiento:** Field for " β = 0.02".
- Ancho mínimo del Área Expuesta:** Field for "b = []".

At the bottom right, there are buttons for "Iniciar Análisis Estático" and "Cancelar".

Figura 15. Pestaña NTC para determinar las Fuerzas de Arrastre estáticas.

El cálculo de las fuerzas estáticas equivalentes que se emplean para el Análisis Estático utilizando las expresiones de las NTCDV-2004 (RCDF, 2004) se muestra a continuación.

Primero se determina la Velocidad de Diseño V_D con la ec. E1.1 sacada de la sección 3.1 de las NTC-2004.

$$V_D = F_{TR} F_{\alpha} V_R \quad (E1.1)$$

Donde V_R es la Velocidad Regional que es la velocidad máxima de viento que se presenta a 10 m sobre el lugar de desplante de la estructura. Esta velocidad se puede leer en la tabla 3.1 de las NTCDV-2004 y se muestra en la Figura 16b. La velocidad regional depende de la importancia de la construcción y la zona en la que se encuentre.

Velocidad Regional, VR

Importancia de la construcción:

Zonificación Eólica:

Velocidad Regional: VR = m/s

a)

Tabla 3.1 Velocidades regionales, V_R , según la importancia de la construcción y la zonificación eólica, m/s

Periodo de retorno, años	Importancia de la construcción		
	A	B	Temporal
Zona I: Delegaciones de Alvaro Obregón, Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, G.A. Madero, Iztacalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza	39	36	31
Zona II: Delegaciones de Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco	35	32	28

b)

Figura 16. a) Velocidad Regional en el “Génesis SimVT”; b) Tabla 3.1 para las Velocidades Regionales según las NTC-2004

F_α Es el factor de variación con la altura que se calcula con las ec. E1.2 que se sacó de la sección 3.1.2 de las NTCDV-2004, donde los valores α y δ se pueden obtener de la Tabla 3.2 de las NTCDV-2004. Estos parámetros dependen de la rugosidad del terreno, así como se muestra en la Figura 17.

$$\begin{aligned}
 F_\alpha &= 1.0; & \text{si } z &\leq 10m \\
 F_\alpha &= (z/10)^\alpha; & \text{si } 10m < z < \delta \\
 F_\alpha &= (\delta/10)^\alpha; & \text{si } z &\geq \delta
 \end{aligned}
 \tag{E1.2}$$

z es la altura en metros del punto que se está analizando.

Rugosidad del Terreno, α y δ

Tipos de terreno: R4

$\alpha =$ 0.17

$\delta =$ 455 m



a)

Tabla 3.2 Rugosidad del terreno, α y δ		
Tipos de terreno (fig. 3.1)		α δ , m
R1	Escasas o nulas obstrucciones al flujo de viento, como en campo abierto	0.099 245
R2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	0.128 315
R3	Zona típica urbana y suburbana. El sitio está rodeado predominantemente por construcciones de mediana y baja altura o por áreas arboladas y no se cumplen las condiciones del Tipo R4	0.156 390
R4	Zona de gran densidad de edificios altos. Por lo menos la mitad de las edificaciones que se encuentran en un radio de 500 m alrededor de la estructura en estudio tiene altura superior a 20 m	0.170 455

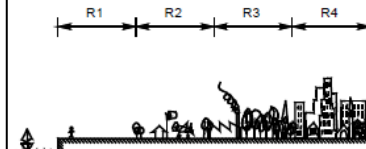


Figura 3.1 Rugosidad de terreno

b)

Figura 17. a) Rugosidad del Terreno en el “*Génesis SimVT*”; b) Tabla 3.2 para determinar la rugosidad del terreno para cada tipo de terreno según las NTCDV-2004.

F_{TR} Es el factor de topografía y rugosidad del terreno que se obtiene de la Tabla 3.3 de las NTCDV-2004, y se muestra en la Figura 18.

Factor de Topografía y Rugosidad del Terreno FTR

Tipos de topografía: T3

FTR = 0.82

a)

Tabla 3.3 Factor F_{TR} (Factor de topografía y rugosidad del terreno)			
Tipos de topografía (fig. 3.2)	Rugosidad de terrenos en alrededores		
	Terreno tipo R2	Terreno tipo R3	Terreno tipo R4
T1 Base protegida de promontorios y faldas de serranías del lado de sotavento	0.80	0.70	0.66
T2 Valles cerrados	0.90	0.79	0.74
T3 Terreno prácticamente plano, campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5 % (normal)	1.00	0.88	0.82
T4 Terrenos inclinados con pendientes entre 5 y 10 %	1.10	0.97	0.90
T5 Cimas de promontorios, colinas o montañas, terrenos con pendientes mayores de 10 %, cañadas o valles cerrados	1.20	1.06	0.98

En terreno de tipo R1, según se define en la tabla 3.2, el factor de topografía y rugosidad, F_{TR} , se tomará en todos los casos igual a 1.0.

Figura 3.2 Formas topográficas locales

b)

Figura 18. a) Factor de Topografía y Rugosidad del Terreno F_{TR} en el “*Génesis SimVT*”; b) Tabla 3.3 para determinar el Factor F_{TR} para cada tipo de terreno según las NTCDV-2004.

Para determinar la presión de diseño que ejerce el flujo del viento en una construcción determinada se emplea la ec. E1.3 sacada de la sección 3.2 de las NTCDV-2004.

$$p_z = 0.048 C_p V_D^2 \quad (\text{Kgf/m}^2) \quad (\text{E1.3})$$

Donde V_D es la Velocidad de diseño que se calculó con la ec. E1.1 y C_p es el coeficiente local de presión que depende de la forma de la estructura; en el programa se tienen en cuenta dos opciones para determinar este valor, uno es para *Construcciones cerradas* y el otro es para *Otro tipo de construcciones* como se muestra en la Figura 19; para la opción de construcciones cerradas se introducen los valores automáticamente que son 0.8 para pared de barlovento y -0.4 para pared de sotavento en succión, sumando los valores obtenemos el C_p igual a 1.2, y para la opción de *Otro tipo de construcciones* se desbloquea la celda de C_p para introducir el valor manualmente, ya sea un valor para paredes aisladas o anuncios como se muestra en la sección 3.3 de las NTCDV-2004.

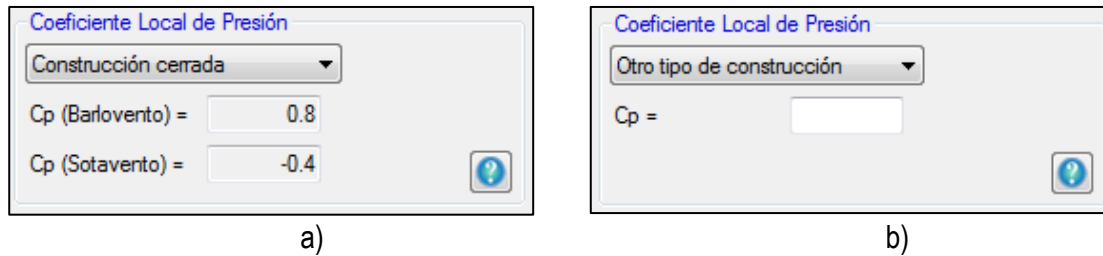


Figura 19. Opciones para obtener el C_p en el programa “Génesis SimVT” a) Opción de *Construcción cerrada*; b) Opción de *Otro tipo de construcción*.

Para determinar la Fuerza de arrastre F_A aplicada en el entrepiso o en el grado de libertad (GL) se utiliza la ec. E1.4, en donde p_z es la presión de diseño que se calculó con la ec. E1.3, A_{exp} es el Área expuesta en donde se aplica la presión de diseño que el programa la determina de dos maneras, una opción es para *Edificios prismáticos* (Fig. 20a), es decir, con ancho constante en el que solamente se introduce el ancho del edificio y el programa calcula el área para cada GL multiplicando el ancho B por la suma de la mitad de la altura del nivel de abajo y la de arriba así como se muestra en la Figura 21 y la otra opción es para *Edificios Irregulares* (Fig. 20b), con ancho variable en el que se muestra una tabla para introducir manualmente el área expuesta para cada GL.

$$F_A = p_z A_{exp} G \quad (E1.4)$$

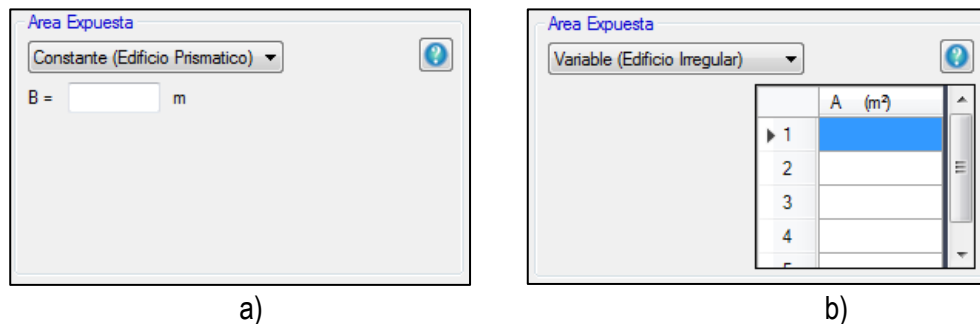


Figura 20. Opciones para calcular el A_{exp} en el programa “Génesis SimVT” a) Opción de *Edificio Prismático* para ancho constante; b) Opción de *Edificio Irregular* para ancho variable.

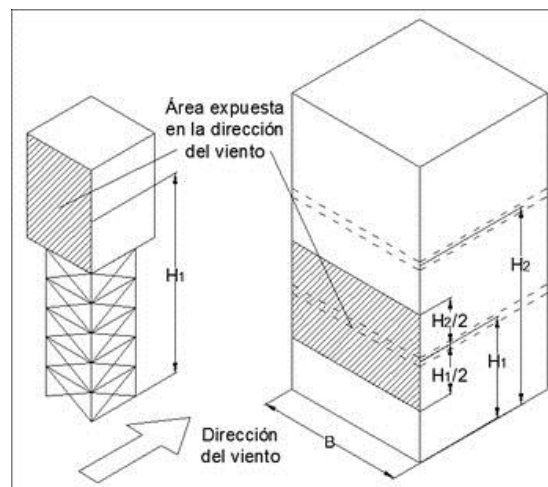


Figura 21. Área expuesta para estructuras con ancho constante y para construcciones irregulares.

En el cálculo del área expuesta para el caso del primer nivel (Figura 21), se calcula multiplicando el ancho B por la suma de la altura H₁ más H₁/2, es decir, que la presión que actúa en el GL1 o el entrepiso 1 está distribuida en todo el muro del primer nivel y la mitad del nivel de arriba, se tomó este criterio conservador debido a que el viento también actúa en la mitad inferior del muro del primer nivel de los edificios.

El factor *G* es el Factor de Amplificación Dinámica que toma en cuenta los efectos estáticos y dinámicos debidos a la turbulencia del viento, este factor es opcional y el programa trae incluido una casilla que se selecciona si se desea multiplicar este factor por las fuerzas estáticas, como se muestra en la Figura 22, este valor se obtiene con la ec. E1.5 y debe ser mayor o igual que 1.

Figura 22. Factor de amplificación dinámica *G* en el programa “Génesis SimVT”.

$$G = 0.43 + g \sqrt{\frac{R}{C_e} \left(B + \frac{SF}{\beta} \right)} \geq 1 \quad (E1.5)$$

Donde

$$g = \left(\sqrt{2 \ln(3600v)} + \frac{0.58}{\sqrt{2 \ln(3600v)}} \right) \frac{1}{2.3} \geq 1.48$$

$$v = n_0 \sqrt{\frac{SF}{SF + \beta B}}$$

$$B = \frac{4}{3} \int_0^{914/H} \left(\frac{1}{1 + \frac{xH}{457}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{xb}{122}} \right) \left(\frac{x}{(1 + x^2)^{4/3}} \right) dx$$

$$S = \frac{\pi}{3} \left(\frac{1}{1 + \frac{8n_0H}{3V_H}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{10n_0b}{V_H}} \right)$$

$$F = \frac{x_0^2}{(1 + x_0^2)^{4/3}}$$

$$x_0 = \left(\frac{1220n_0}{V_H} \right)$$

$$V_H = V_R \sqrt{RC_e}$$

$$C_e = (z/a)^n$$

Los parámetros R , a y n se determinan con la tabla 5.1 de las NTCDV-2004 que se muestra en la Figura 23. Estos factores dependen de la rugosidad del terreno que se muestra en la Figura 17.

Tabla 5.1 Parámetros R , a y n según la condición de exposición			
Exposición	R	a	n
R1	0.04	10	0.18
R2	0.08	10	0.28
R3	0.16	20	0.50
R4	0.34	33	0.72

Figura 23. Parámetros R , a y n sacados de las NTCDV-2004.

Los demás parámetros se definen a continuación:

- n_0 Frecuencia del modo fundamental de la estructura, Hz
- H Altura de la estructura, m
- β Fracción del amortiguamiento crítico, igual a 0.01 en estructuras de acero, y 0.02 en estructuras de concreto
- b Ancho mínimo del área expuesta a lo largo de la estructura, m

Para calcular el factor de amplificación dinámica G solo se debe seleccionar en el programa la Rugosidad del terreno que se muestra en la Figura 17, la fracción de amortiguamiento crítico que se selecciona especificando el tipo de estructura en la lista desplegable de la Figura 22 e introducir el ancho mínimo de la estructura que para el caso de edificios prismáticos se coloca automáticamente el ancho del edificio B que se muestra en la Figura 20a.

Manual de Diseño de Obras Civiles para Diseño por Viento (MOCDV-2008)

Pestaña MOC para calcular las Fuerzas de Arrastre (Figura 22):

Figura 24. Pestaña MOC para determinar las Fuerzas de Arrastre estáticas.

El cálculo de las fuerzas estáticas equivalentes que se emplean para el Análisis Estático utilizando las expresiones del MOCDV-2004 (CFE, 2008) se muestra a continuación.

Se determina la Velocidad Básica de Diseño V_D con la ec. E2.1 que se tomó de la sección 4.2 del MOC-2008.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R \quad (E2.1)$$

Donde V_R es la velocidad Regional de ráfaga para un periodo de retorno fijo y se puede obtener de los mapas de isotacas de la sección 4.2.2.1 del MOCDV-2008 para un determinado periodo de retorno como se muestra en la Figura 25; en el programa "Génesis SimVT" la Velocidad Regional se introduce seleccionando el periodo de retorno que se desea y la zona o región del país donde se está analizando la estructura como se muestra en la Figura 26, esta base de datos se obtuvo de la Tabla C.1 del apéndice C del MOCDV-2008; el periodo de retorno está ligado a la categoría de la construcción donde los periodos de retorno para 200, 50 y 10 años corresponden a los grupos de estructuras A, B y C respectivamente.

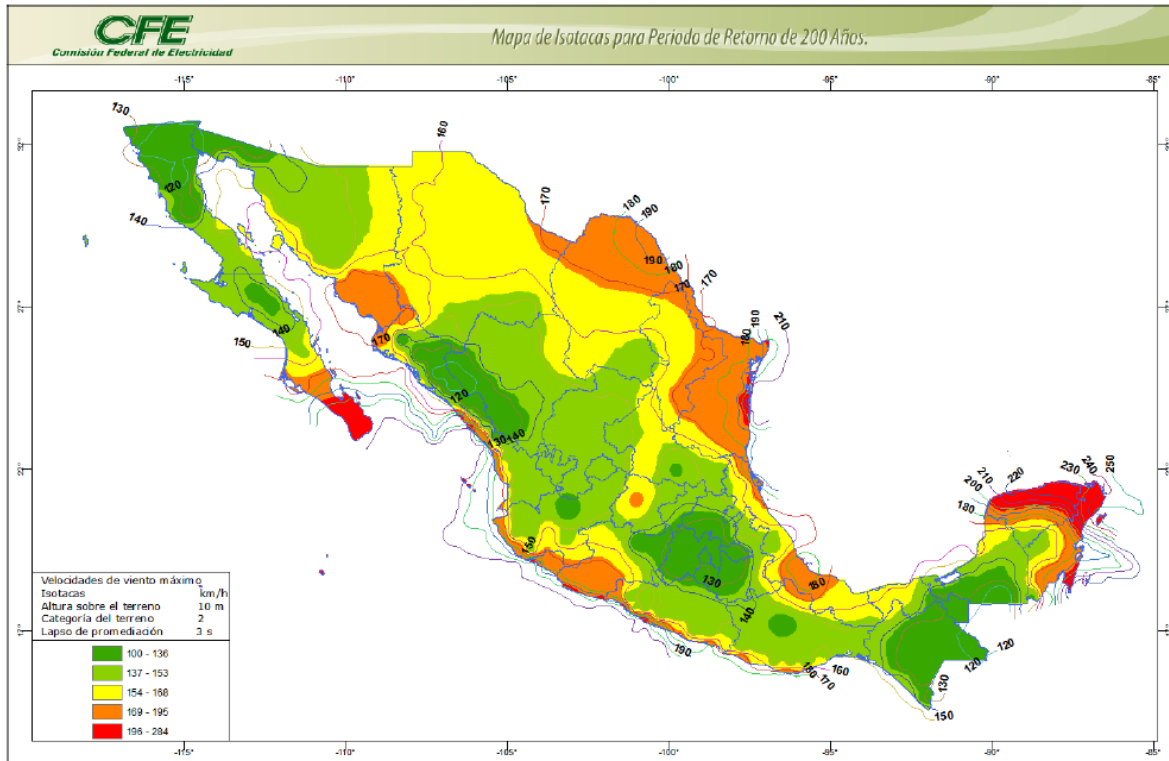


Figura 4.2.1 Mapa de isotacas para velocidades regionales con periodo de retorno de 200 años.

Figura 25. Mapa de isotacas para periodo de retorno de 200 años (Grupo A) según el MOCDV-2008.

Velocidad Regional, VR

Periodo de Retorno: 200 años

Zona o Región del País: Monclova, Coah.

Velocidad Regional: VR = 164 km/h

Figura 26. Velocidad Regional en el programa "Génesis SimVT".

F_{rz} Es el factor de exposición local que establece la variación de la velocidad del viento con la altura, en función de la categoría del terreno que se calcula con las ec. E2.2 según la sección 4.2.3 del MOCDV-2008 donde los valores α , δ y c se obtienen de la Tabla 4.2.3 del MOCDV-2008. Estos parámetros dependen de la rugosidad del terreno, como se muestra en la figura 27.

$$\begin{aligned} F_{rz} &= c; & \text{si } z \leq 10m \\ F_{rz} &= c(z/10)^\alpha; & \text{si } 10m < z < \delta \\ F_{rz} &= c(\delta/10)^\alpha; & \text{si } z \geq \delta \end{aligned} \quad (E2.2)$$

z es la altura en metros del punto que se está analizando.

Factor de Exposición, F_{rz}

Categoría del terreno:

$\alpha =$ $c =$

$\delta =$ m

a)

Tabla 4.2.3 VALORES DE α , δ Y c

Categoría del terreno	α	δ (m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1.000
3	0.156	390	0.881
4	0.170	455	0.815

b)

Figura 27. a) Factor de exposición F_{rz} en el “Génesis SimVT”; b) Tabla 4.2.3 para determinar el factor de exposición del terreno para cada categoría del terreno según el MOCDV-2008.

Las categorías del terreno se especifican en la Tabla 4.2.1 del MOCDV-2008 que se muestra en la Figura 28.

Tabla 4.2.1 CATEGORÍA DEL TERRENO SEGÚN SU RUGOSIDAD

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

Figura 28. Tabla 4.2.1 para la categoría de terreno según su rugosidad, tomado del MOCDV-2008.

F_T Es el factor que depende de la topografía local del sitio donde se desplantará la estructura, y se puede determinar con la Tabla 4.2.4 del MOCDV-2008 que se muestra en la Figura 29; el programa coloca automáticamente los valores para los tipos de topografía local excepto para los sitios que son expuestos, para este tipo de topografía el programa desbloquea la celda para que se introduzca el valor manualmente, previamente calculado con las expresiones de la sección 4.2.4 del MOCDV-2008.

Factor de Topografía Local, F_T

Sitio de la Estructura: Protegido

$F_T =$ 0.9

a)

Tabla 4.2.4 FACTOR DE TOPOGRAFÍA LOCAL, F_T

Sitios	Ejemplos de topografía local	F_T
Protegidos	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano: Campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5%.	1.0
Expuestos	Promontorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas.	Véanse las ecuaciones (4.2.6) a (4.2.8)
	Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas.	

b)

Figura 29. a) Factor de Topografía Local F_T en el “Génesis SimVT”; b) Tabla 4.2.4 para determinar el Factor F_T para cada tipo de topografía según el MOCDV-2008.

La presión dinámica de base q_z que actúa sobre una construcción y varía según la intensidad de la velocidad y la dirección del viento se determina con la ec. E2.3, tomada de la sección 4.2.5 del MOCDV-2008.

$$q_z = 0.0048GV_D^2 \quad (\text{Kgf/m}^2) \quad (\text{E2.3})$$

Donde V_D es la Velocidad básica de diseño que obtuvimos con la ec. E2.1 y G es el factor de corrección por temperatura y altura con respecto al nivel del mar y se obtiene con la ec. E2.4.

$$G = \left(\frac{0.392\Omega}{273 + \tau} \right) \quad (\text{E2.4})$$

Donde Ω es la presión barométrica en mm de Hg (Mercurio) y se obtiene empleando la Tabla 4.2.5 del MOCDV-2008, como se muestra en la Figura 30; para los valores intermedios de la altitud el programa realiza una interpolación para determinar los valores de Ω para dicha altitud.

Tabla 4.2.5 RELACIÓN ENTRE LA ALTITUD Y LA PRESIÓN BAROMÉTRICA

Altitud, h_m (msnm)	Presión barométrica, Ω (mm de Hg)
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

Figura 30. Presión Barométrica Ω en función de la altitud a la que se encuentra la estructura en msnm.

τ es la temperatura ambiental en °C del lugar en donde se encuentra la estructura; los valores de la altitud en msnm y la temperatura ambiental el programa los introduce automáticamente cuando se selecciona la zona o región del país en donde se encuentra la estructura. Estos dos valores se obtuvieron de la base de datos que está en la Tabla C.2 del apéndice C del MOCDV-2008.

La fuerza de arrastre F_A que se aplica en cada entrepiso o GL se determina con la ec. E2.5.

$$F_A = (p_e - p_i)A_z F_{AD} \quad (E2.5)$$

Donde A_z es el área expuesta que se calcula de acuerdo con la ec. E1.4; p_e se determina con la ec. E2.6 que se tomó de la sección 4.3.2.1.1 del MOCDV-2008.

$$p_e = C_{pe} K_A K_L q_z \quad (E2.6)$$

Donde q_z es la presión dinámica de base que se calculó con la ec. E2.3; C_{pe} es el coeficiente de presión exterior que para el caso de edificios regulares es la suma de los coeficientes en dirección de barlovento y sotavento. Para barlovento es 0.8 y para sotavento el valor puede variar así como se muestra en la Tabla de la Figura 31.

Tabla 4.3.1 COEFICIENTE DE PRESIÓN EXTERIOR, C_{pe} , PARA MUROS EN BARLOVENTO (MB) Y SOTAVENTO (MS) DE CONSTRUCCIONES CON PLANTA RECTANGULAR CERRADA

Muro	Dirección del viento θ , en grados	d/b	Inclinación del techo γ , en grados	C_{pe}
Barlovento	Normal ($\theta = 0^\circ$) o paralela ($\theta = 90^\circ$) a las generatrices	Cualquiera	Cualquiera	0.8
Sotavento	Normal ($\theta = 0^\circ$) o paralela ($\theta = 90^\circ$) a las generatrices, para techos a cuatro aguas.	≤ 1	$< 10^\circ$	-0.5
		$= 2$		-0.3
		≥ 4		-0.2
	Normal ($\theta = 0^\circ$) a las generatrices, para techos a una o dos aguas	Cualquiera	$10^\circ \leq \gamma \leq 15^\circ$	-0.3
			20°	-0.4
		≤ 0.1	$\geq 25^\circ$	-0.75
		≥ 0.3		-0.5
	Paralela ($\theta = 90^\circ$) a las generatrices, para techos a una o dos aguas	≤ 1	Cualquiera	-0.5
		$= 2$		-0.3
		≥ 4		-0.2

Figura 31. Tabla 4.3.1 del MOCDV-2008 para la obtención del coeficiente de presión exterior.

Para los valores de K_A y K_L se consideran como 1.00 y 1.25 debido a que estos factores se utilizan para techos, muros laterales, recubrimientos y sus soportes así como se especifican en la sección 4.3.2.1.1 del MOCDV-2008.

La presión interior p_i se determina con la ec. E2.7, donde el coeficiente C_{pi} varía dependiendo de la permeabilidad del edificio y se muestra en la Figura 32.

$$p_i = C_{pi} q_z \quad (E2.7)$$

Tabla 4.3.7(a) COEFICIENTE DE PRESIÓN INTERIOR, C_{pi} , PARA CONSTRUCCIONES CON PLANTA RECTANGULAR CERRADA Y MUROS PERMEABLES

Condiciones de permeabilidad posibles	C_{pi}
1. Un muro permeable, los otros impermeables: a) Muro de barlovento permeable	0.6
b) Muro de barlovento impermeable (Casos a y b de la Figura 4.3.5, respectivamente)	-0.3
2. Dos o tres muros igualmente permeables, el (los) otro(s) impermeable(s): a) Muro de barlovento permeable	-0.1 o 0.2 según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable.
b) Muro de barlovento impermeable (Casos c y d de la Figura 4.3.5, respectivamente)	-0.3
3. Todos los muros igualmente permeables (Caso e de la Figura 4.3.5)	-0.3 o 0.0 según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable.
4. Construcciones selladas eficientemente y que tengan ventanas que no puedan abrirse. (Caso f de la Figura 4.3.5)	-0.2 o 0.0 según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable

Figura 32. Tabla 4.3.7(a) del MOCDV-2008 para la obtención del coeficiente de presión interior.

Los coeficientes C_{pe} , C_{pi} , K_A y K_L que se mencionaron anteriormente están representados en el programa, como se muestra en la Figura 33, donde C_{pe} para barlovento es una casilla bloqueada con un valor de 0.8, C_{pe} para sotavento esta desbloqueada para introducir un valor manualmente y tiene por defecto un valor -0.2, C_{pi} también esta desbloqueada para introducir el valor que se desee y tiene por defecto un valor de -0.2 y los coeficientes K_A y K_L están desbloqueados con un valor por defecto de 1.0 y 1.25 respectivamente.

Figura 33. Coeficientes C_{pe} , C_{pi} , K_A y K_L representados en el programa “Génesis SimVT”.

Por último F_{AD} es el Factor de Amplificación Dinámica que proporciona la fuerza máxima producida por los efectos de la turbulencia del viento y las propiedades dinámicas de la estructura, este factor es opcional y el programa tiene incluida una casilla que se selecciona si se desea multiplicar este factor por las fuerzas estáticas, como se muestra en la Figura 34. Este valor se determina con la ec. E2.8, obtenida de la sección 4.4.4 del MOCDV-2008 y debe ser mayor o igual que 1.

Factor de Amplificación Dinámica, FAD, y Aceleración máxima, Amax

☒ Considerar FAD y Determinar Amax

$\alpha' =$ $\bar{\alpha} =$

$b =$ $z_0 =$ m

$d =$ $z_{min} =$ m

Tipo de Estructura:

Edificios de Concreto Reforzado y Presforzado

Relación de Amortiguamiento Estructural: $\zeta_{est} =$

Amortiguamiento Aerodinámico: $\zeta_a =$

Amortiguamiento por Mecanismos Especiales: $\zeta_d =$

Calcular Estructura como (caso para 1GL):

Estructura Vertical (Edificios)

Ancho de la Estructura: $b =$ m

Densidad del Aire: $\rho =$ kg/m³



Figura 34. Factor de amplificación dinámica F_{AD} en el programa "Génesis SimVT".

$$F_{AD} = \frac{1 + 2k_p I_v(z_s) \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7I_v(z_s)} \geq 1.0$$

Donde

(E2.8)

$$I_v(z_s) = \bar{d}(z_s/10)^{-\alpha'}; \quad \text{si } z_{min} \leq z_s \leq 200$$

$$I_v(z_s) = 1/\ln(z_{min}/z_0); \quad \text{si } z_s \leq z_{min}$$

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0.90 \left(\frac{b+h}{L(z_s)} \right)^{0.63}}$$

$$L(z_s) = 300(z_s/200)^{\bar{\alpha}}; \quad \text{si } z_s \geq z_{min}$$

$$L(z_s) = L(z_{min}); \quad \text{si } z_s < z_{min}$$

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

$$SL(z_s, n_{1,x}) = \frac{6.8 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V'_D(z_s)} \right)}{\left(1 + 10.2 \left(\frac{n_{1,x} L(z_s)}{V'_D(z_s)} \right) \right)^{5/3}}$$

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

$$\eta_h = \frac{4.6h\eta_{1,x}}{V'_D(z_s)}$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2\eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b})$$

$$\eta_b = \frac{4.6b\eta_{1,x}}{V'_D(z_s)}$$

$$\varsigma_{t,x} = \varsigma_{est,x} + \varsigma_{a,x} + \varsigma_{d,x}$$

$$k_p = \sqrt{2 \ln(600v)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \ln(600v)}} \geq 3$$

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

La Velocidad media V'_D se determina con las siguientes expresiones:

$$V'_D = \frac{F_T F'_{rz} V_R}{3.6}$$

Donde

$$\begin{aligned} F'_{rz} &= 0.702\bar{b}; & \text{si } z \leq 10 \\ F'_{rz} &= 0.702\bar{b}(z/10)^{\alpha'}; & \text{si } 10 < z \leq 200 \end{aligned}$$

Los valores de $\bar{b}$ y α' están en función de la categoría del terreno, como se muestra en la tabla de la Figura 28.

Tabla 4.4.1 VALORES DE $\bar{b}$ Y α'

Categoría del terreno	$\bar{b}$	α'
1	1.17	0.12
2	1.00	0.16
3	0.77	0.21
4	0.55	0.29

Figura 35. Tabla 4.4.1 del MOC DV-2008 para obtener los valores de $\bar{b}$ y α' .

F_T es el Factor de topografía, y es el mismo valor que se define en la Figura 27. V_R es la velocidad regional definida en la Figura 26.

Para definir el parámetro z_s se utilizan las expresiones que se muestran en la Figura 36, de acuerdo con la sección 4.4.4.1 del MOCDV-2008, el programa trae incluido una opción que se habilita cuando el oscilador es de 1GL, que se muestra en la Figura 37. Esta opción permite seleccionar si se está analizando la estructura como una estructura vertical o como una estructura de masa concentrada, como anuncios o tanques elevados. Con base en esta opción se determina cuál de las dos expresiones se utilizará para calcular z_s .

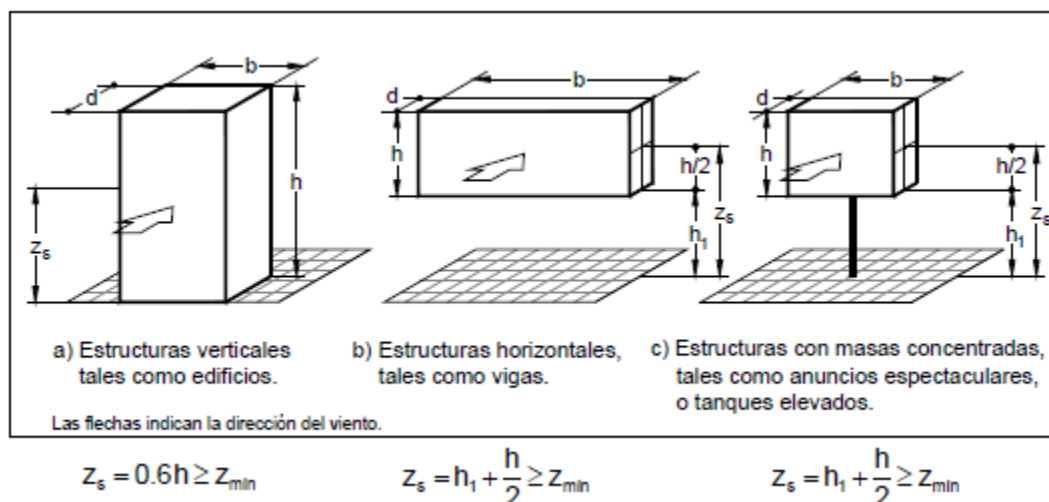


Figura 36. Criterio para determinar z_s según el MOCDV-2008.

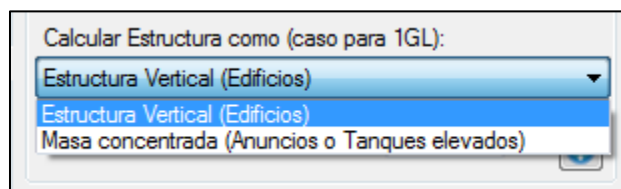


Figura 37. Opción donde se selecciona si la estructura se considera como estructura vertical o de masa concentrada para los casos de osciladores de 1GL en el programa "Génesis SimVT".

Los parámetros $\bar{d}$, z_0 , z_{min} y $\bar{\alpha}$ se determinan con la tabla 4.4.2 del MOCDV-2008, como se muestra en la Figura 38. Estos factores dependen de la categoría del terreno (Figura 28).

Tabla 4.4.2 VALORES DE LAS CONSTANTES $\bar{d}$, z_0 , z_{min} y $\bar{\alpha}$

Categoría del terreno	$\bar{d}$	z_0 (m)	z_{min} (m)	$\bar{\alpha}$
1	0.15	0.01	1	0.44
2	0.19	0.05	2	0.52
3	0.29	0.30	5	0.61
4	0.43	1.0	10	0.67

Figura 38. Tabla 4.4.2 del MOCDV-2008 para obtener los valores $\bar{d}$, z_0 , z_{min} y $\bar{\alpha}$.

$\zeta_{est,x}$ Es la relación de amortiguamiento estructural que se obtiene de la Tabla 4.4.3 del MOCDV-2008 que se muestra en la Figura 39. El programa tiene la opción para escoger el tipo de estructura que se está analizando, como se muestra en la Figura 40.

Tabla 4.4.3 VALORES REPRESENTATIVOS DE RELACIÓN DE AMORTIGUAMIENTO ESTRUCTURAL

Tipo de estructura	$\zeta_{est,x}$
Edificios de concreto reforzado y presforzado	0.015
Edificios de acero	0.010
Estructuras mixtas de concreto y acero	0.013
Chimeneas y torres de concreto reforzado	0.01
Chimeneas de acero soldadas y sin recubrimientos	0.002
Chimeneas de acero soldadas con recubrimiento	0.005
Chimeneas de acero con recubrimiento de refractarios	0.01
Torres de celosía soldadas	0.003
Torres de celosía atomilladas	0.005

Figura 39. Tabla 4.4.3 del MOCDV-2008 para obtener $\zeta_{est,x}$ según el tipo de estructura que se está analizando.

Figura 40. Opción para especificar $\zeta_{est,x}$ según el tipo de estructura en el programa "Génesis SimVT".

Los demás parámetros se definen a continuación:

- b Ancho mínimo de la estructura, m
- h Altura de la estructura, m
- $n_{1,x}$ Frecuencia natural de vibración de la estructura en la dirección del viento, Hz
- $\zeta_{a,x}$ Relación de amortiguamiento aerodinámico, adimensional
- $\zeta_{d,x}$ Relación de amortiguamiento debido a mecanismos especiales de amortiguamiento, adimensional

Los parámetros $\zeta_{a,x}$ y $\zeta_{d,x}$ se introducen manualmente en el programa y tienen por defecto valores de cero.

Para calcular el factor de amplificación dinámica F_{AD} solo se debe seleccionar en el programa la Categoría del terreno (Figura 27), la relación de amortiguamiento estructural que se selecciona especificando el tipo de estructura en la lista desplegable de la Figura 40, si es el caso introducir los valores de $\zeta_{a,x}$ y $\zeta_{d,x}$ que se

mencionaron anteriormente, si es un oscilador de 1GL se debe especificar si la estructura es una estructura vertical o de masa concentrada, como se muestra en las Figuras 36 y 37 e introducir el ancho mínimo de la estructura, que para el caso de edificios prismáticos el programa coloca automáticamente el ancho del edificio B (Figura 20a).

Método Analítico

Pestaña Método Analítico para calcular las Fuerzas de Arrastre (Figura 41):

Figura 41 shows the 'Met. Analítico' tab in the 'Análisis Estático' software. The 'Cálculo de las Fuerzas' section is active. Under 'Densidad del Aire y Velocidad de Diseño', the air density ρ is 1.23 kg/m³. The 'Velocidad de Diseño' table has 5 rows. The 'Coeficiente de Arrastre' section shows $C_D = 1.2$. The 'Area Expuesta' section has a dropdown set to 'Constante (Edificio Prismático)' and a width B field. Navigation buttons 'Iniciar Análisis Estático' and 'Cancelar' are at the bottom.

Figura 41. Pestaña Met. Analítico para determinar las Fuerzas de Arrastre estáticas.

El cálculo de las fuerzas estáticas equivalentes que se emplean para el Análisis Estático utilizando el Método Analítico se muestra a continuación.

Para determinar la Fuerza de Arrastre se emplea la ec. E3.1 que es la ecuación de Bernoulli (Meseguer y S., 2013).

$$F_A = 1/2 \rho V_D^2 C_D A_{exp} \quad (E3.1)$$

Donde ρ es la densidad del aire que trae por defecto un valor de 1.23 kg/m³ y que puede ser modificado manualmente como se muestra en la Figura 42; V_D es la velocidad de diseño que se debe especificar para caga GL por ejemplo en la Figura 42 se muestran las celdas donde se deberá introducir la velocidad de diseño para un oscilador de 5GL; C_D es el coeficiente de arrastre que por defecto es 1.2 y puede ser modificado manualmente como se muestra en la Figura 42, este valor de 1.2 es recomendado si se considera que se está analizando un edificio prismático; A_{exp} es el área expuesta que se determina así como se menciona en las Figuras 20 y 21.

La fuerza de arrastre se calcula para GL, en donde solo se varía la Velocidad de diseño V_D en la ec. E3.1.

Densidad del Aire y Velocidad de Diseño

Densidad del Aire: $\rho =$ kg/m³

Velocidad de Diseño:

	VD (m/s)
▶ 1	
2	
3	
4	
5	

Coeficiente de Arrastre

Coeficiente de Arrastre:

CD =

Area Expuesta

▼

B = m

Figura 42. Densidad del aire ρ , Velocidad de diseño V_D , Coeficiente de arrastre C_D y área expuesta A_{exp} para el Método Analítico en el programa “Génesis SimVT”.

Respuestas del Oscilador

Las respuestas de la estructura están basados en las sig. ecuaciones. Para determinar los desplazamientos de cada nivel utilizamos la ec. (E4.1) en donde $\{F_D\}$ es el vector de fuerzas de arrastre, cuya definición se presentó en las secciones posteriores, $[K]^{-1}$ es la matriz de rigidez inversa (ec. E0.1) y $\{U\}$ es el vector de desplazamientos de cada nivel o GL del oscilador.

$$\{U\} = [K]^{-1}\{F_D\} \quad (E4.1)$$

Para determinar las fuerzas cortantes en un nivel se suman las fuerzas estáticas F de dicho nivel con las de los niveles superiores, y con esto obtenemos el diagrama de cortante del oscilador, ec. (E4.2); el cortante en la base (cortante basal) es la suma de todas las fuerzas de todos los niveles de la estructura, ec. (E4.3).

$$V_i = \sum_{j=i}^n F_j \quad (E4.2)$$

$$V_b = \sum_{j=1}^n F_j \quad (E4.3)$$

El momento de volteo se determina sumando para cada nivel, el producto de la fuerza F en el entrepiso por su altura respecto a la base, ec. (E4.4)

$$M_v = \sum_{j=i}^n h_j F_j \quad (E4.4)$$

Las distorsiones de entrepiso θ están dadas por la diferencia de desplazamiento horizontal d relativo de los niveles superior e inferior entre la altura relativa H de dichos entrepisos, como se muestra en la ec. (E4.5)

$$\theta_i = \frac{d_i - d_{i-1}}{H_i} \quad (E4.5)$$

A continuación se muestra como obtener las respuestas de la estructura; después de presionar el botón “Iniciar Análisis Estático” se cerrará la ventana anterior (Figura 41), y se mostrará el formulario principal con el espacio “Respuestas Estáticas del Oscilador” desbloqueado para poder visualizar las respuestas del oscilador con las unidades que se seleccione; las respuestas y unidades que se pueden observar con esta opción son las siguientes:

Respuesta del Oscilador	Unidades
Fuerzas Actuantes	Kgf, Tonf, N, KN
Desplazamientos	cm, m
Diagrama de Cortante	Kgf, Tonf, N, KN
Momento de Volteo	Kgf-cm, Kgf-m, Tonf-cm, Tonf-m, N-cm, N-m, KN-cm, KN-m
Distorsión de Entrepiso	Adimensional

En la Figura 43 se muestra un ejemplo de un oscilador de 5GL, en donde se muestran los desplazamientos con unidades en *cm*.

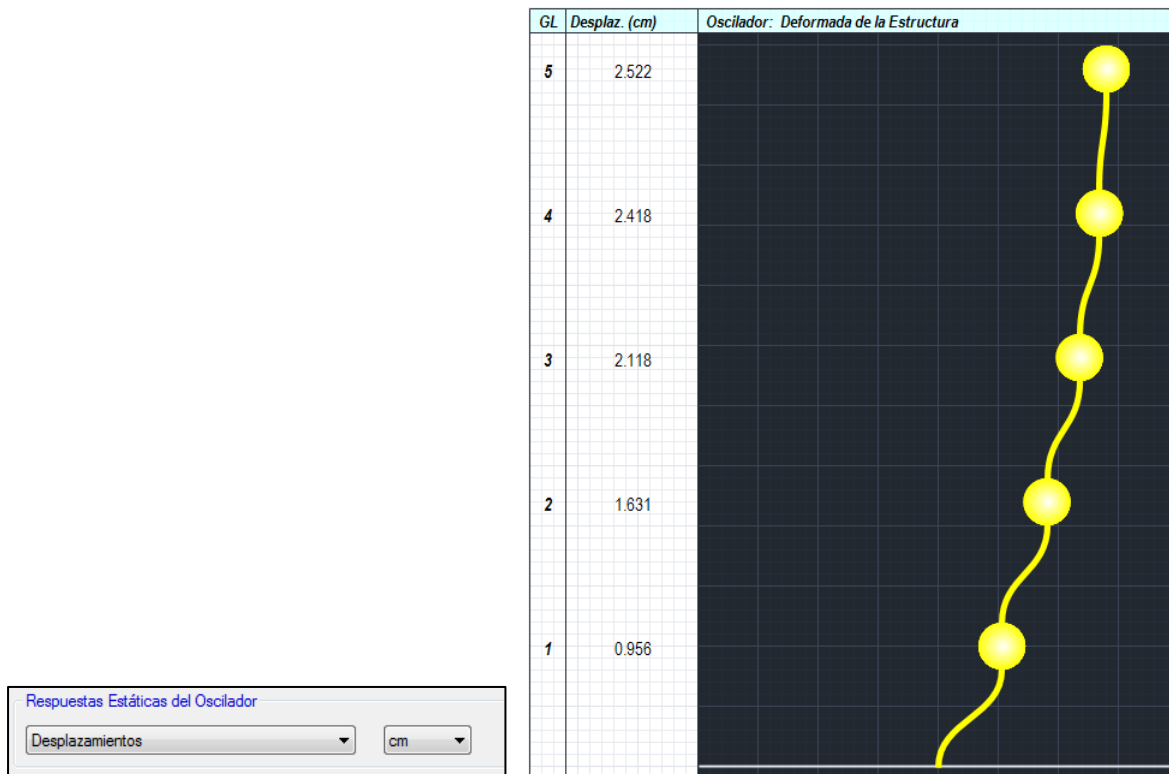


Figura 43. Ejemplo de un oscilador de 5GL mostrando la respuesta de desplazamientos con unidades en cm.

Otra opción para poder visualizar los resultados es oprimiendo el botón “Resultados Numéricos del Modelo” que se encuentra en la barra de herramientas y se muestra en la Figura 44.

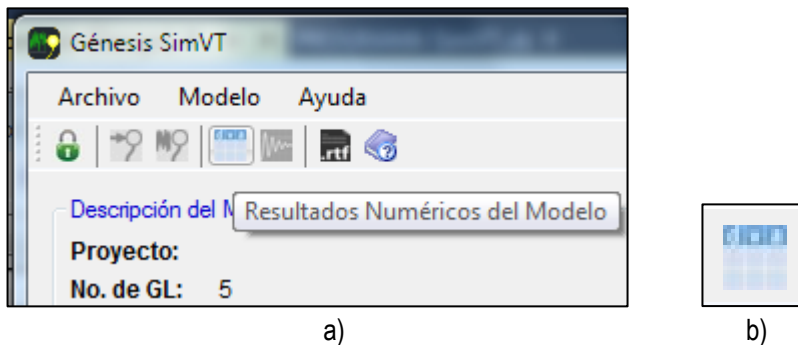


Figura 44. Botón que abre la ventana “Resultados Numéricos del Modelo (Análisis Estático)”; a) Vista alejada del botón en la barra de herramientas; b) Vista ampliada.

Al oprimir el botón anterior se abrirá la ventana “Resultados Numéricos del Modelo (Análisis Estático)” donde se muestran los resultados ordenados por número de GL en una tabla, como se muestra en la Figura 45; los resultados que se pueden mostrar en esta ventana dependen del tipo de metodología (NTCDV-2004, MOCDV-2008 o Método Analítico) que se empleó y si se seleccionó la opción para calcular el factor de amplificación dinámico y aceleración máxima; los resultados que se pueden observar en esta opción son los siguientes:

Resultados	Unidades MKS (SI)
Matriz de Masa	Kgf-s ² /m (Kg)
Matriz de Rigidez	Kgf/m (N/m)
Fuerzas Estáticas Actuantes	Kgf (N)
Desplazamientos	M (m)
Fuerzas Cortantes	Kgf (N)
Momento de Volteo	Kgf-m (N-m)
Distorsión de Entrepiso	Adim. (Adim.)
Frecuencia del 1er Modo	1/s (1/s)
Factor de Amplificación Dinámica	Adim. (Adim.)
Aceleración máxima	Milli-g (Milli-g)

NOTA: La Frecuencia del 1er Modo y el Factor de Amplificación Dinámica sólo se muestran si se selecciona la opción de calcular el Factor de Amplificación Dinámica en las NTCDV-2004 o el MOCDV-2008 no para el Método Analítico.

Los resultados que se muestran en la tabla se pueden seleccionar y pasar a otro archivo como "Microsoft Excel".

En la barra de herramientas de esta ventana se encuentra el botón "Configuración" que tiene forma de llave inglesa, con esta opción podemos modificar el número de decimales para los resultados y el ancho de las columnas de la tabla en pixeles.

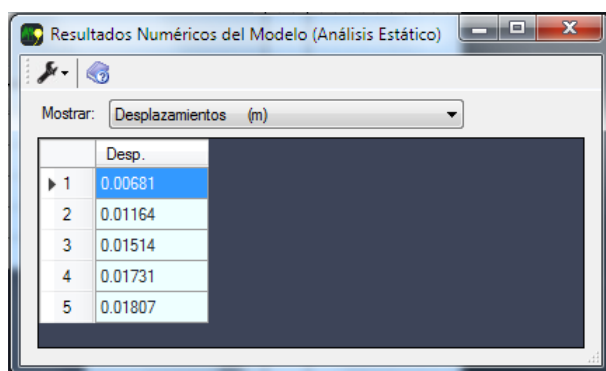


Figura 45. Ventana "Resultados Numéricos del Modelo (Análisis Estático)" que muestra los resultados de Desplazamientos.

Generar Archivo de Texto

Los resultados del programa se pueden exportar a un archivo de texto .rtf, para hacer esto presionamos el botón "Generar Archivo de Texto" que se encuentra en la barra de herramientas y que se muestra en la Figura 46.

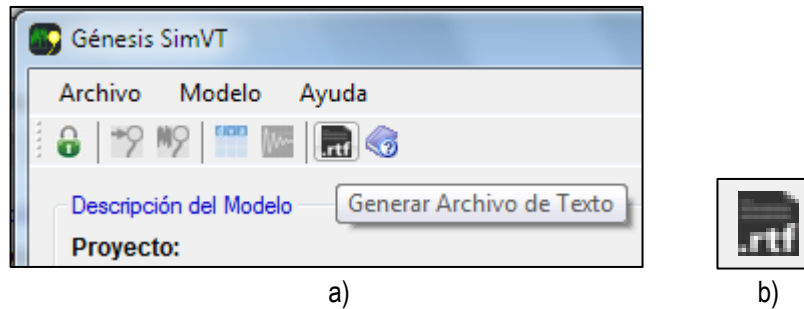


Figura 46. Botón que abre la ventana “Generar Archivo de Texto (Análisis Estático)”; a) Vista alejada del botón en la barra de herramientas; b) Vista ampliada.

Al presionar este botón se mostrara una pequeña ventana donde nos pedirá introducir el Nombre del Proyecto, lo introducimos y presionamos “Aceptar”, enseguida se abrirá la ventana “Generar Archivo de Texto – Análisis Estático”, seguido especificamos los resultados que queramos guardar en el archivo de texto, o si es el caso, si queremos seleccionar todos los resultados podemos oprimir el botón “Seleccionar Todo / Desmarcar Todo” que se muestra en la Figura 47.

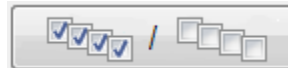


Figura 47. Botón que sirve para seleccionar todas las casillas de los resultados y para desmarcarlas todas.

Habiendo seleccionado los resultados que deseemos introducir en el archivo de texto, oprimimos el botón “Generar Archivo de Texto” y automáticamente se escribirán los resultados en el cuadro de texto, estos resultados están bloqueados, es decir, que no podrán modificar desde el programa, son sólo para lectura; en la Figura 48 se muestra una imagen con un ejemplo de cómo se vería el archivo de texto desde el programa.

Los resultados que se pueden guardar en el Archivo de Texto para el Análisis Estático se muestran en la siguiente tabla:

Resultados
Nombre del Proyecto
Numero de GL
Tipo de Análisis
Propiedades del Oscilador
Frecuencias de Vibrar de la Estructura
Periodos de Vibrar de la Estructura
Modos de Vibrar de la Estructura
Velocidades Media de Viento sobre cada GL
Cálculo de Fuerzas de Arrastre con o sin FAD y Aceleración máxima
Fuerzas Estáticas en cada GL
Desplazamientos en cada GL
Cortantes de Entrepiso en cada Nivel
Momento de Volteo de la Estructura
Distorsiones de Entrepiso en cada Nivel

NOTA: El Nombre del Proyecto, Número de GL, Tipo de Análisis y las Propiedades del Oscilador se introducen por defecto en el archivo de texto.

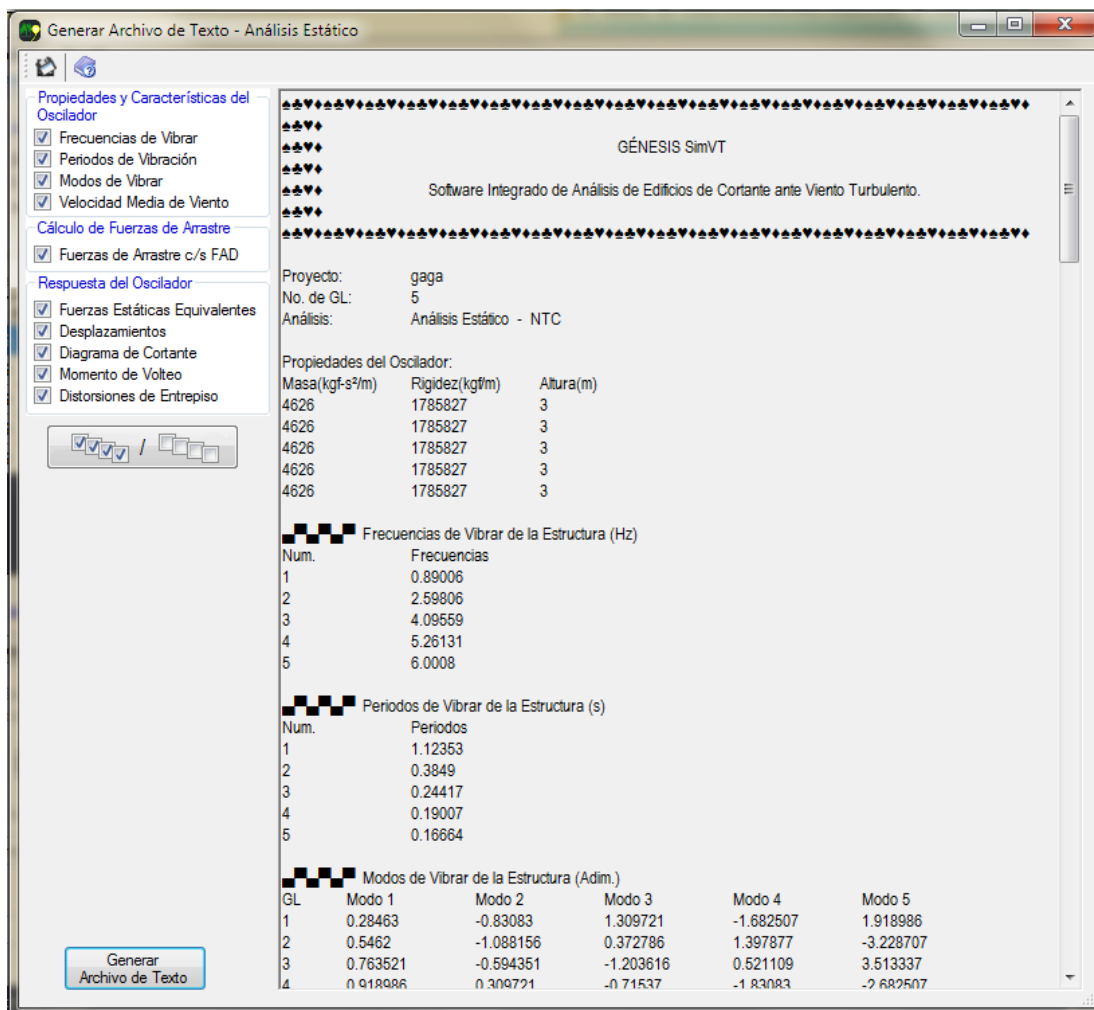


Figura 48. Archivo de texto con los resultados del programa.

Una vez generado el archivo de texto en el programa, sólo nos queda guardarlo en el equipo, para ello presionaremos el botón “Exportar a Archivo .rtf”, como se muestra en la Figura 49, y se abrirá una ventana de “Guardar como”, donde indicaremos el destino del archivo de ayuda.

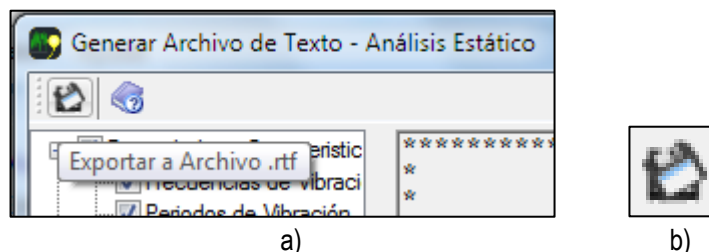


Figura 49. Botón que guardar el archivo de texto; a) Vista alejada del botón en la barra de herramientas; b) Vista ampliada.

Análisis Dinámico

Propiedades del Oscilador

Propiedades del Oscilador (Figura 50):

Una vez ejecutado el programa y desplegado el formulario principal, lo primero que haremos es indicar el tipo de unidades que deseemos utilizar; para ello seleccionaremos el menú desplegable que está en la esquina inferior derecha para seleccionar si deseamos utilizar unidades MKS (Kgf-m-seg) o SI (N-m-seg), es decir, si queremos usar las fuerzas como Kilogramos fuerza o Newtons, como se muestra en la Figura 11.

Propiedades del Oscilador

Rigidez, Masa y Altura del GL/Entrepiso

	M (kgf-s ² /m)	K (kgf/m)	H (m)
► 1	4626	1785827	3
2	4626	1785827	3
3	4626	1785827	3
4	4626	1785827	3
5	4626	1785827	3

No. de GL: 5

Amortiguamiento: Clásico

ζ para todos los modos.

$\zeta =$ 0.05

Figura 50. Recuadro donde se especifica las propiedades del oscilador.

Enseguida indicaremos el número de GL o entrepisos que tendrá nuestra estructura, que está restringido a 15 GL, esta opción se encuentra en la esquina superior derecha del cuadro de “Propiedades del oscilador”, como se muestra en la Figura 12.

Después indicaremos las propiedades de la estructura que son: la masa (M), rigidez (K) y altura (H) de cada GL, las unidades de estos valores se encuentra en el encabezado de cada columna; la altura de cada GL o entrepiso se requiere para calcular la Velocidad de Viento de Diseño con las NTCDV-2004 y MOCDV-2008 y para calcular el momento de volteo de la estructura.

Únicamente para el Análisis Dinámico especificaremos el tipo de amortiguamiento; en el espacio llamado “Amortiguamiento” podremos especificar si queremos amortiguamiento “Clásico” o de “Rayleigh” como se muestra en la Figura 52, estos tipos de amortiguamiento se explican más adelante.

La matriz de masa y rigidez se considera como en las ecs. E0.1 y E0.2.

Opciones de la Tabla

Al hacer clic derecho en una casilla se abrirá una submenú con las siguientes dos opciones:

“Copiar a celdas vacías” (Figura 51a)

Con esta opción se copiará el valor seleccionado a todas las celdas vacías de la columna, esto es para los niveles que tienen el mismo valor ya sea de masa, rigidez y altura en varios niveles.

“Borrar...” (Figura 51b)

La opción de “Borrar...” contiene dos sub-opciones más, que son, “Columna” y “Todo”; la sub-opción de “Borrar Columna” como su nombre lo dice, borra el contenido de la columna seleccionada; “Borrar Todo” borra todo el contenido de la Tabla.

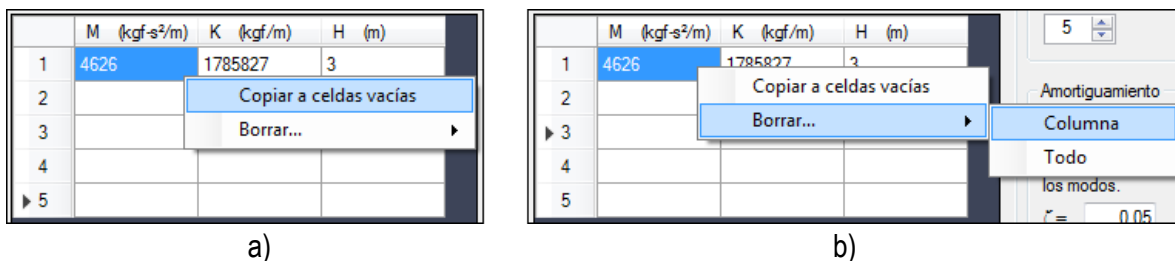


Figura 51. a) Opción “Copiar a celdas vacías”; b) Opción “Borrar...” para borrar una columna o toda la tabla.

Amortiguamiento

Tipos de Amortiguamiento (Figura 52):

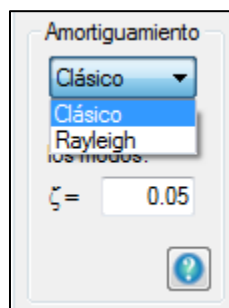


Figura 52. Opción para especificar el tipo de amortiguamiento.

Amortiguamiento Clásico:

En el amortiguamiento clásico (Chopra, 2014) se supone que la fracción de amortiguamiento crítico ζ es igual para todos los modos de vibración. El valor ζ que se especifique en el cuadro de texto (Figura 52) será para todos los modos.

Amortiguamiento de Rayleigh:

En el amortiguamiento de Rayleigh (Chopra, 2014) se especifica en el cuadro de texto la fracción de amortiguamiento crítico ζ para el modo 1 y 2, mientras que para los modos de vibrar superiores esta fracción aumenta con respecto a la frecuencia de dichos modos; la fracción de amortiguamiento para cada modo de un sistema se determina con la ec. A.1

$$\zeta_i = \frac{a_0}{2\omega_i} + \frac{a_1\omega_i}{2} \quad (\text{A.1})$$

Donde ω_i es la frecuencia del modo i , y a_0 y a_1 están dadas por la ec. A.2 en donde la fracción de amortiguamiento del modo 1 y 2 son iguales y ω_1 y ω_2 son las frecuencias de los modos 1 y 2

$$a_0 = \zeta \frac{2\omega_1\omega_2}{\omega_1 + \omega_2} \quad a_1 = \zeta \frac{2}{\omega_1 + \omega_2} \quad \text{A.2}$$

Fuerzas de Arrastre

Al presionar el botón “Análisis Dinámico” se abrirá dicha ventana donde se especifican los parámetros necesarios para calcular la Velocidad de Viento Media y con ésta las señales de Fuerzas de Viento Turbulento, la Velocidad de Viento Media depende de la metodología (NTCDV-2004, MOCDV-2008 o Método Analítico) que se emplee. En esta ventana se especifican los mismos parámetros que en el “Análisis Estático” solo que con algunas variaciones; lo que cambia en esta ventana es que no se especifica el Factor de Amplificación Dinámica en las NTCDV-2004 ni en el MOCDV-2008 como se muestra en la Figura 53 y 54; y en el Método Analítico se debe introducir el “Perfil de Exposición del Terreno”, estas son las únicas diferencias entre la ventana de “Análisis Estático” y “Análisis Dinámico”; después de especificar estos parámetros presionamos el botón “Continuar” que igual se encuentra en la parte de abajo de la ventana y a continuación se abrirá una ventana llamada “Iniciar Análisis Dinámico”.

Pestaña NTC para Análisis Dinámico (Figura 53):

Figura 53. Pestaña NTC para determinar la señal de Fuerzas de Arrastre dinámicas.

Pestaña MOC para Análisis Dinámico (Figura 54):

Figura 54. Pestaña MOC para determinar la señal de Fuerzas de Arrastre dinámicas.

Pestaña Met. Analítico para Análisis Dinámico (Figura 55):

Análisis Dinámico

Cálculo de las Fuerzas:

NTC MOC Met. Analítico

Densidad del Aire y Velocidad de Diseño

Densidad del Aire: $\rho = 1.23 \text{ kg/m}^3$

Velocidad Media de Diseño promediada a 1 hora:

	VD (m/s)
1	
2	
3	
4	
5	

Coficiente de Arrastre

Coficiente de Arrastre:

CD = 1.2

Perfil de Exposición del Terreno

Perfil del Terreno: [dropdown]

Area Expuesta

Constante (Edificio Prismático) [dropdown]

B = [input] m

Continuar [button] Cancelar [button]

Figura 55. Pestaña Met. Analítico para determinar la señal de Fuerzas de Arrastre dinámicas.

En la ventana “Iniciar Análisis Dinámico” se muestran varios parámetros para el método de Newmark para MGL y para la Simulación del Viento Turbulento, como se muestra en la Figura 56; de estos parámetros sólo es modificable el número de modos a considerarse en el análisis, que por defecto es el núm. de GL; para el caso de 1GL se especifica la FDPE y la velocidad de viento a 10m si es el caso, así como se explicará más adelante.

Iniciar Análisis Dinámico

Método de Newmark para MGL

Duración de cada señal: $t = 10 \text{ min}$

Paso de tiempo: $\Delta t = 0.1 \text{ seg}$

Numero total de puntos: $\Delta n = 6000$

Parametros γ y β : $\gamma = 1/2$ $\beta = 1/4$

Modos a considerarse: $\phi = 5$

Simulación del Viento Turbulento para MGL

Función de Densidad de Potencia Espectral: Kaimal [dropdown]

Frecuencia inicial del espectro: $f_0 = 0.001 \text{ Hz}$

Frecuencia final del espectro: $f_f = 5 \text{ Hz}$

Iniciar Análisis Dinámico [button] Cancelar [button]

Figura 56. Ventana “Iniciar Análisis Dinámico” que muestra algunos parámetros informativos para el Método de Newmark para MGL y la Simulación del Viento Turbulento.

Velocidades de Viento Turbulento para MGL

El modelo ARMA se emplea cuando el oscilador es de dos o más GL y es usado para caracterizar y simular las señales de Viento Turbulento en donde se combina una señal aleatoria con distribución uniforme, es decir, con valores de -1 a 1 y una matriz de correlación que para generarla se necesitan solamente dos parámetros, las coordenadas X y Y de los puntos que se desea analizar que para nuestro programa todos los valores de X serán cero y los valores de Y serán la altura de cada entrepiso o GL, y la velocidad media de viento V_M en dichos puntos; con esta combinación se genera una señal que ya no es totalmente aleatoria si no que ya existe alguna correlación entre las señales de todos los puntos X y Y que se consideraron en el modelo ARMA.

La ec. V.1 es la expresión principal de donde parte el modelo ARMA en donde las A_i 's y B_i 's son los coeficientes de autorregresión (AR) y media móvil (MA) respectivamente, X_r son las series de ruido blanco Gaussiano y Y_r son las series en el tiempo.

$$\sum_{i=0}^q A_i Y_{r-i} = \sum_{i=0}^q B_i X_{r-i} \quad (V.1)$$

Cuando se emplea el modelo ARMA el programa usa únicamente la Función de Densidad de Potencia Espectral (FDPE) propuesta por Kaimal (S. y Scanlan, 1996); se emplea únicamente este espectro debido a que se consideró que era el más completo para simular las señales ya que éste varía con la altura.

Con este procedimiento la Velocidad de viento de diseño V_D que se aplicará para los cálculos de las fuerzas de arrastre será la de la ec. V.2

$$V_D = V_M + v(t) \quad (V.2)$$

Donde V_M es la velocidad media de viento que se introduce en el modelo ARMA y $v(t)$ es la velocidad de viento turbulento que se determina con el modelo ARMA y que puede ser un valor positivo o negativo; las señales se conforman por 6000 puntos con un intervalo de tiempo de 0.1s lo que equivale a una duración de 10 minutos, en la Figura 57 se muestra una señal de viento como ejemplo calculada con el modelo ARMA en donde la velocidad de viento media es 50 m/s.

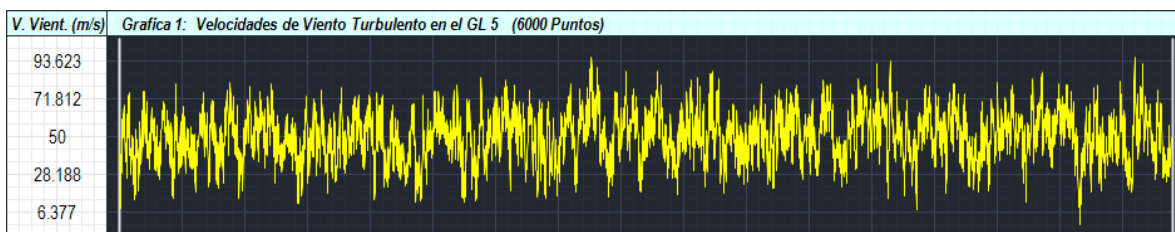


Figura 57. Señal de Viento Turbulento para el GL 5 (Azotea) de un oscilador de 5GL con una velocidad de viento media en ese punto de 50 m/s calculada con el modelo ARMA en el programa “Génesis SimVT”.

El procedimiento completo del modelo ARMA se muestra detalladamente en el artículo “ARMA representation of random processes” que se encuentra en las referencias al final de este trabajo.

Velocidades de Viento Turbulento para 1GL

Para el caso de un oscilador de 1GL, el programa no utiliza el modelo ARMA sino que solamente utiliza una señal aleatoria; para este caso de 1GL el programa tiene la opción de utilizar entre cuatro tipos de Función de Densidad de Potencia Espectral (FDPE) que son respectivamente el espectro de Von Kármán, Davenport, Harris y Kaimal (S. y Scanlan 1996), cuyas formas funcionales se presentan a continuación:

$$S(n) = \frac{4\sigma^2 Lu}{U(z) \left[1 + 70.8 \left(\frac{nLu}{U(z)} \right)^{2/3} \right]^{5/6}}, \quad Lu = 0.3zB^{3/2}, \quad B = 6 \quad (V.3)$$

$$S(n) = \frac{960,000n\sigma^2}{U(10)^2 \left[1 + \left(\frac{1,200n}{U(10)} \right)^2 \right]^{3/4}} \quad (V.4)$$

$$S(n) = \frac{1,200\sigma^2}{U(10) \left[2 + \left(\frac{1,800n}{U(10)} \right)^2 \right]^{5/6}} \quad (V.5)$$

$$S(n) = \frac{100z\sigma^2}{3U(z) \left[1 + 50 \left(\frac{nz}{U(z)} \right) \right]^{5/3}} \quad (V.6)$$

La opción para escoger entre los cuatro tipos de FDPE sólo se desbloquea cuando el oscilador es de 1GL y se muestra en la Figura 58; Si se selecciona el espectro de Davenport o Harris, empleando el Método Analítico, se debe introducir manualmente la Velocidad de viento a 10 metros de altura.

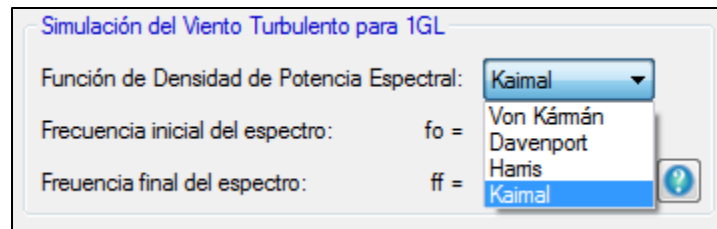


Figura 58. Opción para seleccionar entre los cuatro tipos de FDPE para el caso de un oscilador de 1GL en el programa “Génesis SimVT”.

En la Figura 59 se muestra una señal de viento turbulento para un oscilador de 1GL calculada con el espectro de Kaimal, en donde la velocidad media es de 50m/s.

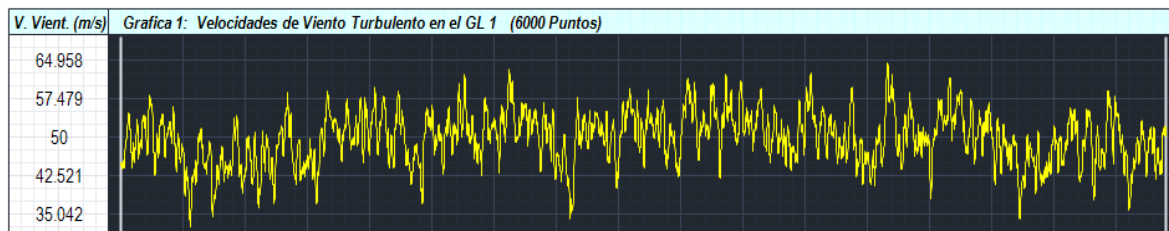


Figura 59. Señal de Viento Turbulento para un oscilador de 1GL calculado con la FDPE de Kaimal con una velocidad media de viento de 50 m/s realizado en el programa “Génesis SimVT”.

Señales de Viento Turbulento y Fuerzas de Arrastre empleando las NTCDV-2004

Para determinar las señales de las Fuerzas de Arrastre F_A empleando las NTCDV-2004, se utilizan las mismas expresiones que se utilizaron para la sección del análisis estático del presente trabajo, sólo que ahora no obtenemos un solo valor de Velocidad de Diseño ni de fuerza de Arrastre sino que ahora tendremos una señal de 6000 puntos para cada uno de estos dos parámetros. Como se mencionó en la sección anterior, para emplear el Modelo ARMA y obtener las señales de Viento Turbulento sólo necesitamos introducir las coordenadas X y Y de los GL y las Velocidades Medias de Viento en dichos puntos. Estas Velocidades Medias de Viento que se introducen en el Modelo ARMA son las que se obtienen con la ec. E1.1, que se muestra a continuación por conveniencia.

$$V_D = F_{TR} F_\alpha V_R$$

Esta Velocidad de Diseño V_D es la que se emplea en el Modelo ARMA como Velocidad Media de Viento y que genera como resultado una señal de velocidades de viento turbulento. Estos valores de velocidades de viento turbulento se sustituyen en la ec. E1.3 para determinar las Fuerzas de Arrastre con la ec. E1.4; estas ecuaciones se muestran a continuación, pero ya modificadas para obtener las señales de las Fuerza de Arrastre, en donde se sustituye la i -ésima Velocidad de Viento Turbulento en la ec. D1.1 y así obtener la señal de las Fuerzas de Arrastre con la ec. D1.2. En estas ecuaciones el factor de amplificación dinámica G se quita de la ecuación debido a que ya se está considerando la acción dinámica del viento en el oscilador al tomar en cuenta la señal de Viento Turbulento y el Análisis Dinámico.

$$p_{z_i} = 0.048 C_p V_{D_i}^2 \quad (\text{Kgf/m}^2) \quad (\text{D1.1})$$

$$F_{A_i} = p_{z_i} A_{exp} \quad (\text{D1.2})$$

Señales de Viento Turbulento y Fuerzas de Arrastre empleando las MOCDV-2008

El procedimiento para obtener las señales de las Fuerzas de Arrastre F_A empleando el MOCDV-2008 es muy similar al de la sección anterior. La Velocidad Media de Viento que se introduce en el Modelo ARMA es la Velocidad Media V'_D que se usa para calcular el factor de amplificación dinámica F_{AD} en la ec. E2.8 y se muestra a continuación por conveniencia.

$$V'_D = \frac{F_T F'_{rz} V_R}{3.6}$$

Este valor de V'_D se emplea en el Modelo ARMA debido a que es la velocidad de viento que se emplea cuando se trata de representar las acciones dinámicas en una estructura.

Con la Velocidad Media V'_D se genera una señal de Viento Turbulento que es la que se sustituye en la ec. E2.5 para obtener la señal de Fuerzas de Arrastre. La ec. D2.1 es la ec. E2.5 ya modificada para el i -ésimo valor de la Velocidad de Viento Turbulento donde p_e y p_i están en función de V_D que se sustituye por V'_D y el factor de amplificación dinámica F_{AD} se elimina de la ecuación.

$$F_{A_i} = (p_{e_i} - p_{i_i}) A_z \quad (\text{D2.1})$$

Señales de Viento Turbulento y Fuerzas de Arrastre empleando el Método Analítico

Para el caso del Método Analítico, las Velocidades Medias de Viento que se emplean en el Modelo ARMA son las mismas que se introducen manualmente, como se muestra en la Figura 42; la señal de Viento Turbulento que se genera se sustituye en la ec. D3.1 que es la ec. E3.1 modificada para el i -ésimo valor de la Velocidad de Viento de Diseño y obtener la señal de Fuerzas de Arrastre F_A .

$$F_{Ai} = 1/2\rho V_{Di}^2 C_D A_{exp} \quad (D3.1)$$

Respuestas del Oscilador

Las respuestas de la estructura están basados en las sig. ecuaciones. Los desplazamientos, velocidades y aceleraciones se obtienen del Método de Newmark para MGL (Chopra, 2014) que está programado tal y como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1 Método de Newmark para sistemas lineales de MGL (Chopra, 2014).

Casos especiales: (1) Método de aceleración promedio constante ($\gamma = 1/2$, $\beta = 1/4$)

- 1.0 *Cálculos iniciales*
 - 1.1 Definir Δt
 - 1.2 $\mathbf{a}_1 = \left(\frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \right) \mathbf{M} + \left(\frac{\gamma}{\beta\Delta t} \right) \mathbf{C}; \quad \mathbf{a}_2 = \left(\frac{1}{\beta\Delta t} \right) \mathbf{M} + \left(\frac{\gamma}{\beta} - 1 \right) \mathbf{C}; \quad \mathbf{y}$
 $\mathbf{a}_3 = \left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) \mathbf{M} + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) \mathbf{C}.$
 - 1.3 $\hat{\mathbf{K}} = \mathbf{K} + \mathbf{a}_1$
- 2.0 *Cálculos para cada paso de tiempo, $i = 1, 2, \dots$*
 - 2.1 $\hat{\mathbf{P}}_{i+1} = \Phi^T \mathbf{p}_{i+1} + \mathbf{a}_1 \mathbf{q}_i + \mathbf{a}_2 \dot{\mathbf{q}}_i + \mathbf{a}_3 \ddot{\mathbf{q}}_i$
 - 2.2 $\mathbf{q}_{i+1} = \hat{\mathbf{K}}^{-1} \hat{\mathbf{P}}_{i+1}$
 - 2.3 $\dot{\mathbf{q}}_{i+1} = \left(\frac{\gamma}{\beta\Delta t} \right) (\mathbf{q}_{i+1} - \mathbf{q}_i) + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{\mathbf{q}}_i + \Delta t \left(1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right) \ddot{\mathbf{q}}_i$
 - 2.4 $\ddot{\mathbf{q}}_{i+1} = \left(\frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \right) (\mathbf{q}_{i+1} - \mathbf{q}_i) - \left(\frac{1}{\beta\Delta t} \right) \dot{\mathbf{q}}_i - \left(\frac{1}{2\beta} - 1 \right) \ddot{\mathbf{q}}_i$
 - 2.5 $\mathbf{u}_{i+1} = \Phi \mathbf{q}_{i+1}$
 - 2.6 $\mathbf{v}_{i+1} = \Phi \dot{\mathbf{q}}_{i+1}$
 - 2.7 $\mathbf{a}_{i+1} = \Phi \ddot{\mathbf{q}}_{i+1}$
- 3.0 *Repetición para el siguiente paso de tiempo.*
Reemplazar i por $i + 1$ e implementar los pasos 2.1 al 2.7 para el siguiente paso de tiempo.

En donde $\mathbf{M}$, $\mathbf{C}$ y $\mathbf{K}$ están dadas por

$$\mathbf{M} = \Phi^T \mathbf{m} \Phi \quad \mathbf{C} = \Phi^T \mathbf{c} \Phi \quad \mathbf{K} = \Phi^T \mathbf{k} \Phi \quad (D4.1)$$

donde m , c y k son las matrices de masa, amortiguamiento y rigidez, respectivamente; Φ es la matriz de los modos de vibrar que están considerados para el análisis; $\mathbf{q}$, $\dot{\mathbf{q}}$ y $\ddot{\mathbf{q}}$ son cero para el primer paso de tiempo, ya que se considera que el oscilador inicia en reposo; $\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$ y $\mathbf{a}$ son los desplazamientos, velocidades y aceleraciones de todos los GL del oscilador; el programa tiene la opción para especificar los modos de vibrar que se quieren utilizar para el análisis. En este método se empleará el caso especial del Método de la aceleración promedio constante, ($\gamma = 1/2$, $\beta = 1/4$), ya que con estos valores el método es estable para cualquier valor de Δt .

Para determinar los cortantes de entrepiso se utiliza la ec. (D4.2) en donde $\{F_I\}$ es el vector de fuerzas internas, $[K]$ es la matriz de rigidez (ec. E0.1) y $\{U\}$ es el vector de desplazamientos de cada nivel o GL del oscilador, obtenidos del análisis dinámico.

$$\{F_I\} = [K]\{U\} \quad (D4.2)$$

Para determinar las fuerzas cortantes en un nivel se suman las fuerzas internas F_I (ec. D4.2) de dicho nivel con las de los niveles superiores, y con esto obtenemos el diagrama de cortante del oscilador, ec. (D4.3); el cortante en la base (cortante basal) es la suma de todas las fuerzas de todos los niveles de la estructura, ec. (D4.4).

$$V_i = \sum_{j=i}^n F_j \quad (D4.3)$$

$$V_b = \sum_{j=1}^n F_j \quad (D4.4)$$

El momento de volteo se determina sumando para cada nivel, el producto de la fuerza interna F_I en el entrepiso por su altura respecto a la base, ec. (D4.5)

$$M_v = \sum_{j=i}^n h_j F_j \quad (D4.5)$$

Las distorsiones de entrepiso θ están dadas por la diferencia de desplazamiento horizontal d relativo de los niveles superior e inferior entre la altura relativa H de dichos entrepisos, como se muestra en la ec. (D4.6)

$$\theta_i = \frac{d_i - d_{i-1}}{H_i} \quad (D4.6)$$

A continuación se muestra como obtener los resultados del programa; una vez que concluyó el análisis, se desbloquearán los controles que se encuentran en el espacio “Respuesta Dinámica del Oscilador”, en donde tenemos varias opciones para ver los resultados, así como se muestra en la Figura 60.

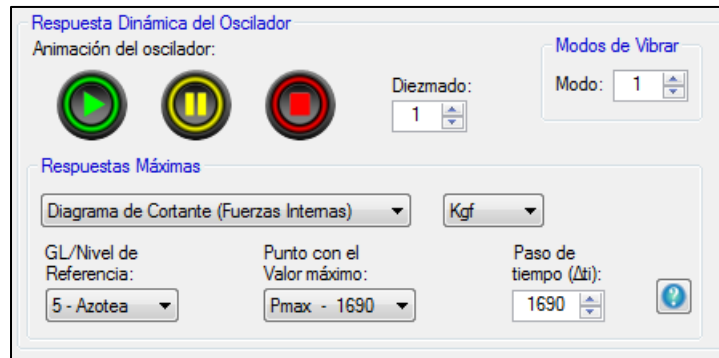


Figura 60. Espacio “Respuesta Dinámica del Oscilador” donde se muestran las diferentes opciones para ver los resultados.

En la esquina superior derecha de la Figura 60 podemos observar un pequeño espacio llamado “Modos de Vibrar” que al momento de seleccionarlo, automáticamente el oscilador tomara la deformada del modo que está especificado; en la Figura 61 se muestra un ejemplo de un oscilador de 5GL que muestra su segunda forma modal.

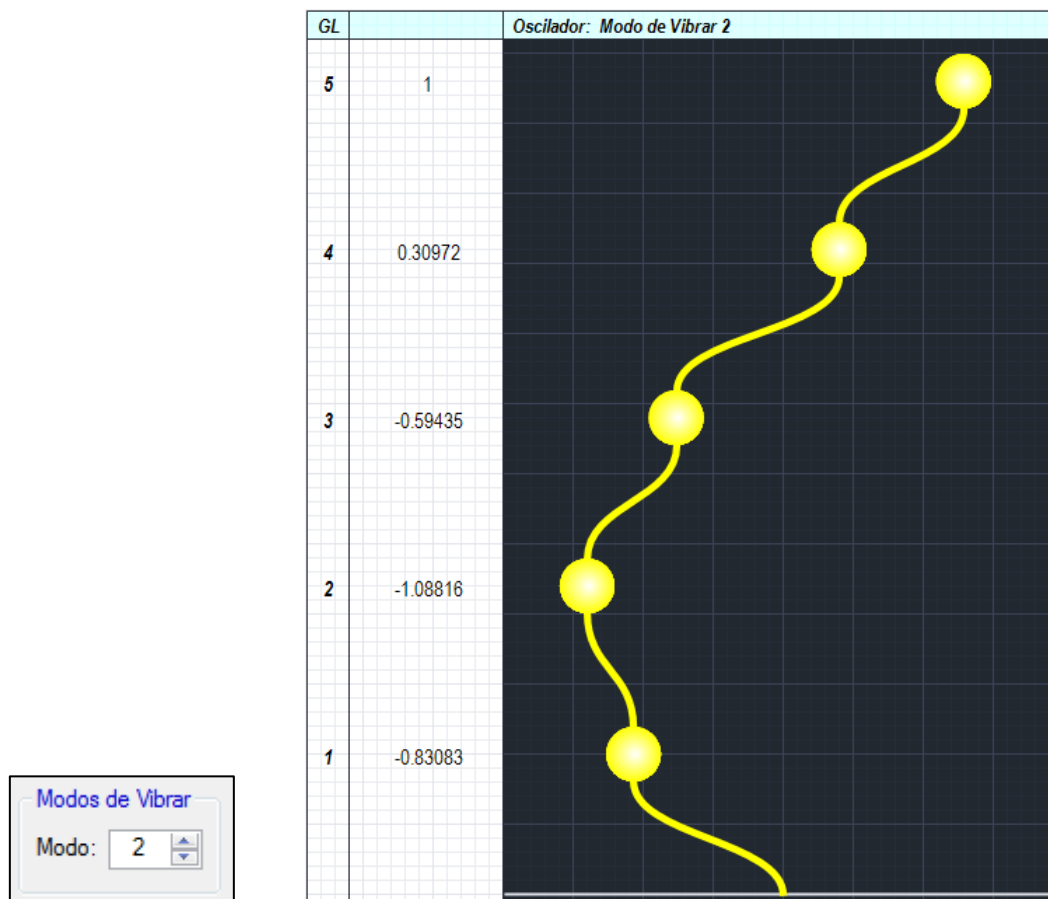


Figura 61. Ejemplo de un oscilador de 5GL mostrando su segunda forma modal.

Otro control importante para poder observar los resultados son los de “Animación del Oscilador”, que son los tres botones que representan “Reproducir” (botón verde), “Pausar” (botón amarillo) y “Detener” (botón rojo) y la

casilla de diezmado; al oprimir el botón verde (Reproducir) se iniciara una animación en donde el oscilador se empieza a desplazar simulando los desplazamientos calculados con las Fuerzas de Viento Turbulento, al oprimir el botón amarillo (Pausar) la animación se pausará en el punto de la señal que se encuentre y para colocar el oscilador en el punto 1 de la simulación se oprime el botón rojo (Detener); la opción de diezmado controla la velocidad de la animación, entre más grande el valor de diezmado más rápido se moverá el oscilador; en la Figura 62 se muestran estos controles y un ejemplo de una animación pausada de un oscilador de 5GL en el punto 304 de 6000.

NOTA: La animación del oscilador únicamente muestra los desplazamientos de cada GL.

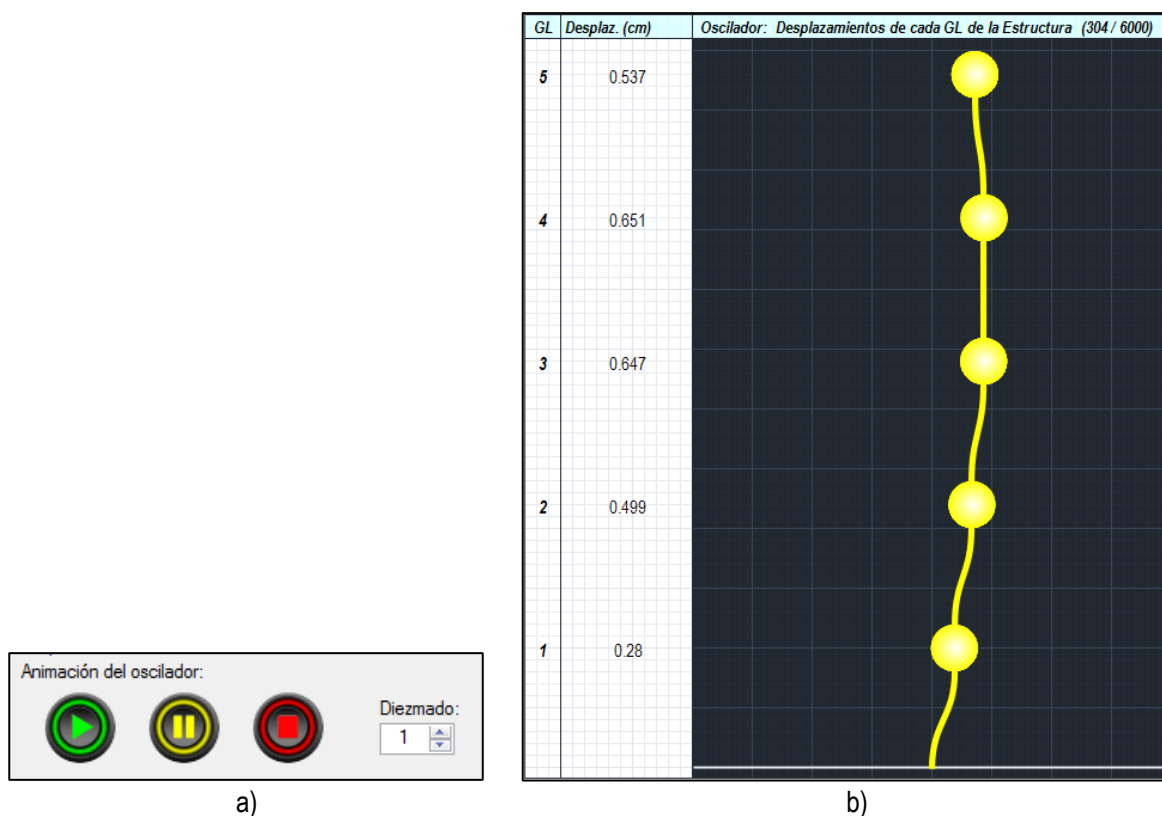


Figura 62. a) Controles “Animación del oscilador”; b) Animación pausada de un oscilador de 5GL en el punto 304 de 6000.

El tercer y último control para ver los resultados del oscilador son los del espacio “Respuestas Máximas” en donde se muestran las respuestas máximas de cada tipo de respuesta y para cada GL, estos controles se muestran en la Figura 63 y se explican a continuación.

Figure 63 shows the 'Respuestas Máximas' (Maximum Responses) control interface. It includes a dropdown menu for 'Desplazamientos' (Displacements) and a unit selector set to 'cm'. Below this, there are three main controls: 'GL/Nivel de Referencia' (Reference Level) set to '5 - Azotea' (Roof), 'Puntos con los Valores máximos' (Points with Maximum Values) set to '1° - 5061', and 'Paso de tiempo (Δt):' (Time Step) set to '304'. A help icon is also present.

Figura 63. Espacio “Respuestas Máximas” donde se muestran las respuestas máximas para cada tipo de respuesta y para cada GL.

Para observar las respuestas máximas primero debemos especificar el tipo de respuesta y sus respectivas unidades, los tipos de respuesta que se pueden observar en esta opción se encuentran en la siguiente tabla:

Respuestas Máximas del Oscilador	Unidades
Velocidad de Viento Turbulento	m/s
Fuerzas Dinámicas Actuales	Kgf, Tonf, N, KN
Desplazamientos	cm, m
Velocidades	cm/s, m/s
Aceleraciones	cm/s ² , m/s ² , g
Diagrama de Cortante	Kgf, Tonf, N, KN
Momento de Volteo	Kgf-cm, Kgf-m, Tonf-cm, Tonf-m, N-cm, N-m, KN-cm, KN-m
Distorsiones de Entrepiso	Adimensional

Después seleccionamos en “GL/Nivel de Referencia” el número del GL del que queremos conocer el valor máximo de la respuesta; al seleccionar el GL de referencia automáticamente se modificara la lista de “Punto con el Valor Máximo”. La lista ahora contendrá el valore más alto del tipo de respuesta y el GL que se seleccionó; en la Figura 64 se muestra un ejemplo de un oscilador de 5GL donde se quiere saber el desplazamiento máximo en el quinto GL. Se observa en la figura que el desplazamiento máximo se encuentra en el punto 1045 y si queremos ir a dicho punto sin escribirlo en el “Paso de tiempo (Δt_i)” solo lo seleccionamos y automáticamente se ira a este punto.

Figura 64. Ejemplo de un oscilador de 5GL donde se muestran los desplazamientos máximos en el quinto GL (Nivel de la Azotea).

En “Paso de tiempo (Δt_i)” podemos seleccionar manualmente el punto que queramos visualizar y automáticamente dibujara el oscilador con el tipo de respuesta y unidades que esté seleccionado.

Para poder observar los resultados en tablas oprimimos el botón “Resultados Numéricos del Modelo” que se muestra en la Figura 65, que es el mismo que se utilizó para el Análisis Estático solo que ahora la ventana que se abrirá se llama “Resultados Numéricos del Modelo (Análisis Dinámico)” y en ella se podrán observar otro tipo de resultados.

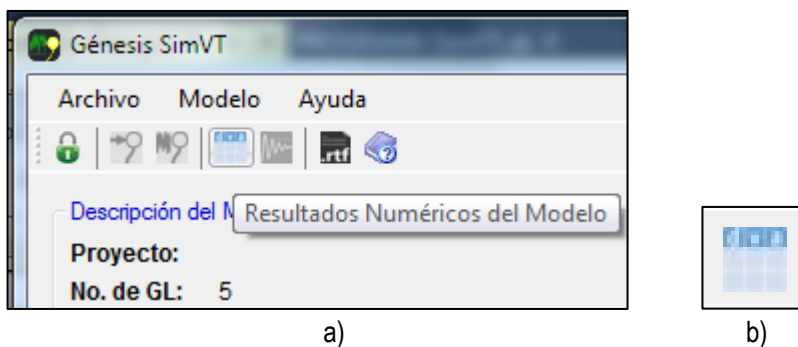


Figura 65. Botón que abre la ventana “Resultados Numéricos del Modelo (Análisis Dinámico)”; a) Vista alejada del botón en la barra de herramientas; b) Vista ampliada.

Al abrirse la ventana “Resultados Numéricos del Modelo (Análisis Dinámico)” se especifica el tipo de respuesta y los resultados aparecerán ordenados por número de GL en una tabla como se muestra en la Figura 66.

	GL 1	GL 2	GL 3	GL 4	GL 5
► 0001	0.00182	0.00214	0.00207	0.00178	0.00132
0002	0.00661	0.00886	0.00929	0.00858	0.00731
0003	0.01092	0.01737	0.02029	0.02084	0.02002
0004	0.01331	0.02351	0.03072	0.03501	0.03652
0005	0.01603	0.02834	0.03847	0.04608	0.04971
0006	0.01873	0.03308	0.04338	0.05064	0.05401
0007	0.01911	0.03351	0.04317	0.04825	0.04992

Figura 66. Ventana “Resultados Numéricos del Modelo (Análisis Dinámico)” que muestra los resultados de Desplazamientos de un oscilador de 5GL.

Los resultados que se pueden mostrar en esta ventana no dependen del tipo de metodología por lo que las respuestas que se pueden observar en esta opción siempre son las mismas y son las siguientes:

Resultados	Unidades MKS (SI)
Matriz de Masa	Kgf-s ² /m (Kg)
Matriz de Rigidez	Kgf/m (N/m)
Fracción de Amortiguamiento Critico	Adim. (Adim.)
Frecuencias de Vibrar	1/s (1/s)
Periodos de Vibrar	s (s)
Modos de Vibrar	Adim. (Adim.)
Velocidades de viento Turbulento	m/s (m/s)
Fuerzas Estáticas Actuantes	Kgf (N)
Desplazamientos	m (m)
Velocidades	m/s (m/s)
Aceleraciones	m/s ² (m/s ²)
Diagramas de Cortante	Kgf (N)
Momento de Volteo	Kgf-m (N-m)
Distorsión de Entrepiso	Adim. (Adim.)

NOTA: Estos resultados que se muestran en la tabla se pueden seleccionar y pasar a otro archivo como "Microsoft Excel".

Para el caso del Análisis Dinámico se desbloquea una opción extra para poder visualizar los resultados en forma de gráficas, para entrar oprimimos el botón "Resultados Gráficos del Modelo", como se muestra en la Figura 67.

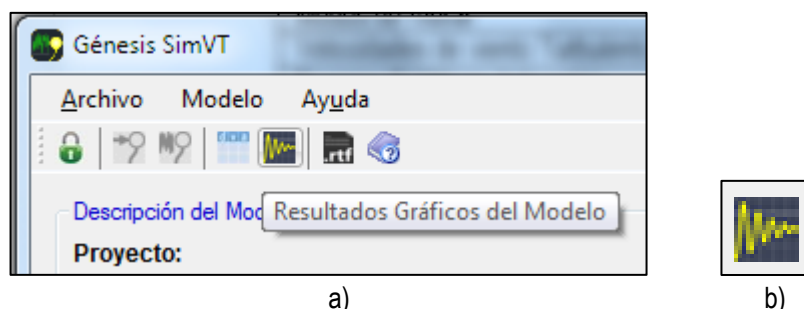


Figura 67. Botón que abre la ventana "Resultados Gráficos del Modelo - Análisis Dinámico"; a) Vista alejada del botón en la barra de herramientas; b) Vista ampliada.

Después de oprimir este botón se abrirá la ventana "Resultados Gráficos del Modelo - Análisis Dinámico" en donde se puede observar el tipo de respuesta en el GL que se seleccione, en forma de gráfica; los resultados que se pueden observar en esta opción son los siguientes:

Resultados	Unidades MKS (SI)
Velocidades de viento Turbulento	m/s (m/s)
Fuerzas Estáticas Actuantes	Kgf (N)
Desplazamientos	m (m)
Velocidades	m/s (m/s)
Aceleraciones	m/s ² (m/s ²)
Diagramas de Cortante	Kgf (N)
Momento de Volteo	Kgf-m (N-m)
Distorsión de Entrepiso	Adim. (Adim.)

NOTA: Para el caso de la gráfica del Momento de Volteo, se desbloquea la opción para seleccionar el GL de referencia debido a que el Momento de Volteo se calcula tomando en cuenta todos los GL.

En la Figura 68 se muestra un ejemplo de un oscilador de 5GL donde se muestra en la Gráfica 1 la Velocidad de Viento Turbulento (gráfica amarilla), en la Gráfica 2 se muestran los Desplazamientos (gráfica verde) y en la Gráfica 3 se muestran las Aceleraciones (gráfica roja), todas en el quinto GL.

Los colores de las gráficas no son modificables.

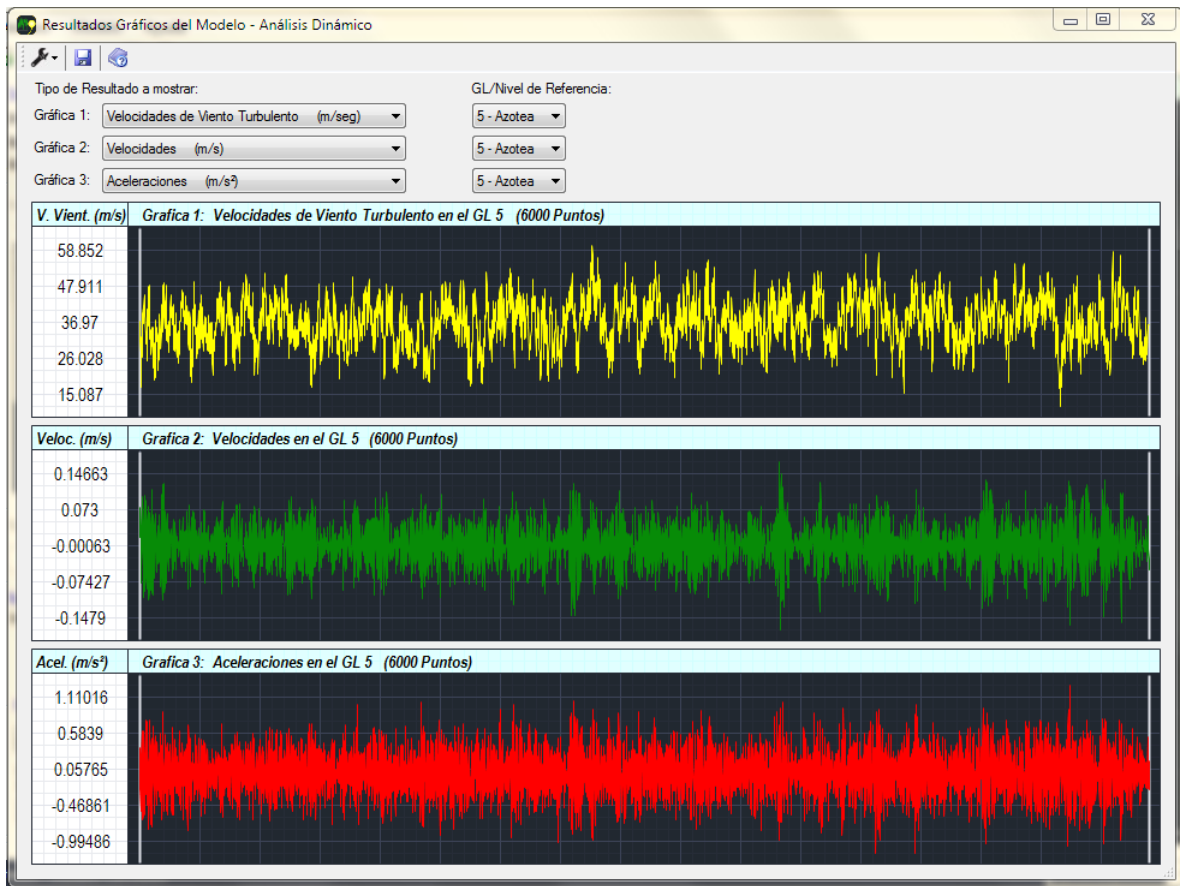


Figura 68. Ventana "Resultados Gráficos del Modelo - Análisis Dinámico" donde se muestran algunas respuestas en forma de gráficas.

Generar Archivo de Texto

Para generar un archivo de texto .rtf oprimimos el botón “Generar Archivo de Texto” que se encuentra en la barra de herramientas y que se muestra en la Figura 46, que es el mismo para el caso de un Análisis Estático.

De igual manera al presionar este botón nos pedirá introducir el Nombre del Proyecto, al introducirlo se abrirá la ventana “Generar Archivo de Texto – Análisis Dinámico”, después especificamos los resultados que queramos guardar en el archivo de texto, o si es el caso, seleccionar todos los resultados oprimiendo el botón “Seleccionar Todo / Desmarcar Todo” que se muestra en la Figura 47.

Para el caso del Análisis Dinámico no se recomienda seleccionar las casillas de “Respuesta completa” ya que se guardarán los seis mil datos de dichas respuestas y se ocupara mucho espacio que tal vez no sea conveniente.

Los resultados que se pueden guardar en el Archivo de Texto para el Análisis Dinámico se muestran en la siguiente tabla:

Resultados
Nombre del Proyecto
Numero de GL
Tipo de Análisis
Propiedades del Oscilador
(RC y RM) Velocidades de Viento Turbulento
(RC y RM) Fuerzas Dinámicas
(RC y RM) Desplazamientos
(RC y RM) Velocidades
(RC y RM) Aceleraciones
(RC y RM) Diagramas de Cortante
(RC y RM) Momentos de Volteo
(RC y RM) Distorsiones de Entrepiso

RC = Respuesta Completa, RM = Respuestas Máximas

NOTA: El Nombre del Proyecto, Número de GL, Tipo de Análisis y las Propiedades del Oscilador se introducen por defecto en el archivo de texto. Los resultados que tienen (RC y RM) significa que tiene dos opciones, para guardar la respuesta completa (6000 puntos) o la respuesta máxima (1 punto).

Habiendo seleccionado los resultados que deseemos introducir en el archivo de texto oprimimos el botón “Generar Archivo de Texto” y automáticamente se escribirán los resultados en el cuadro de texto, de igual manera estos resultados son solo para lectura.

En la Figura 69 se muestra la ventana “Generar un Archivo de Texto – Análisis Dinámico” con las opciones que se tienen para llenar el archivo de texto y un ejemplo de cómo se verían el archivo de texto ya generado.

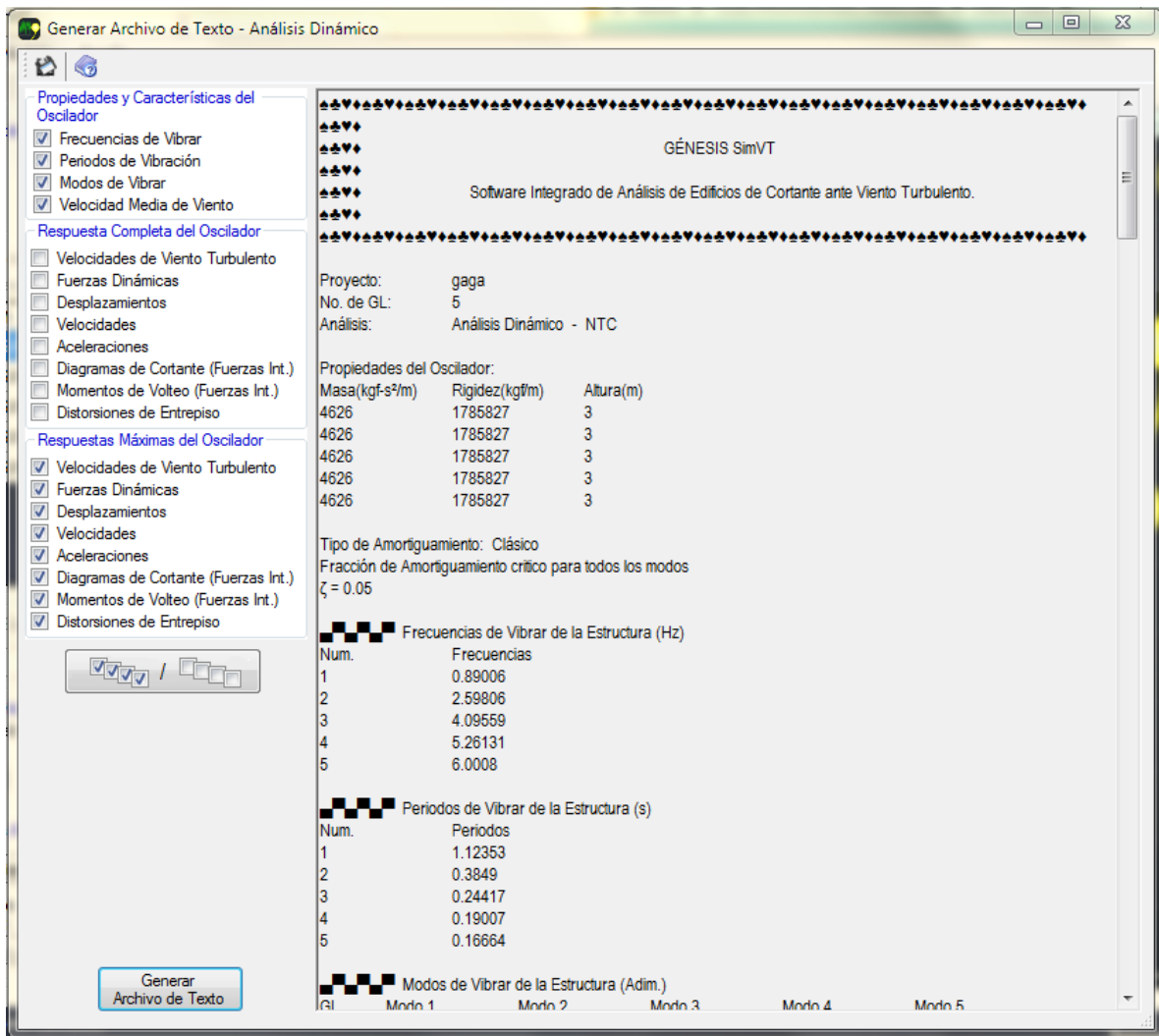


Figura 69. Archivo de texto con los resultados del programa.

Una vez generado el archivo de texto en el programa sólo resta guardarlo en el equipo, para ello presionaremos el botón "Exportar a Archivo .rtf" que se muestra en la Figura 70, y enseguida se abrirá una ventana de "Guardar como" donde indicaremos el destino del archivo generado.

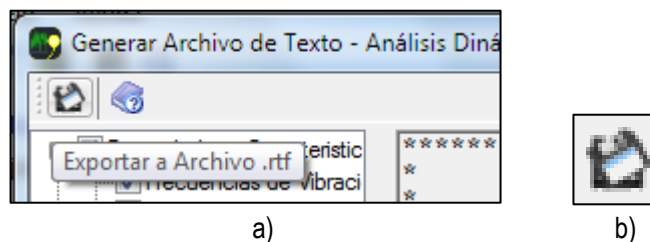


Figura 70. Botón que guardar el archivo de texto; a) Vista alejada del botón en la barra de herramientas; b) Vista ampliada.

Ejemplos de Aplicación

Anuncio espectacular

Ejemplo: Anuncio espectacular (Figura 71):

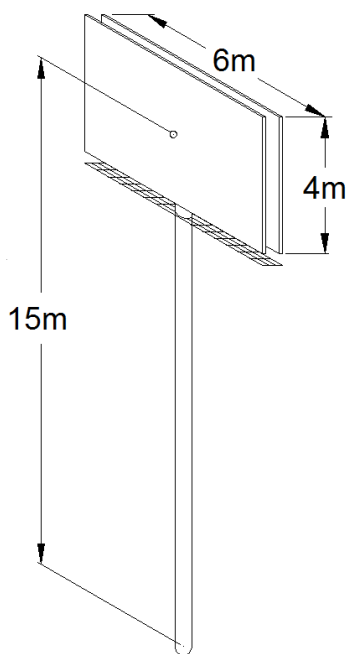


Figura 71. Dimensiones del Anuncio espectacular.

Considere que el anuncio espectacular mostrado en la Figura 71 se puede modelar como un oscilador de 1GL; Desprecie la fuerza de arrastre sobre la columna de soporte del anuncio y emplee la FDPE de Kaimal. La información de la estructura y las condiciones del viento en el sitio se presentan en la sig. tabla:

Masa, m (Kg)	2,000
Rigidez, k (N/m)	64,000
Porcentaje de amortiguamiento, ζ	0.008
Velocidad media, $\bar{V}$ (m/s)	25
Coeficiente de arrastre, C_D	1.5
Densidad del aire, ρ (kg/m ³)	1.23
Perfil de Exposición del Terreno	Área urbana cubierta con numerosas obstrucciones no muy altas, <u>Supóngase tipo B en el programa.</u>

1. Determine las respuestas máximas de Desplazamiento, Cortante y Momento de Volteo del anuncio.
2. Obtenga las gráficas de Velocidad de Viento Turbulento, Desplazamientos, Velocidades y Aceleraciones.

Solución: Anuncio espectacular

Primero cambiamos el sistema de unidades a SI (Figura 72a), después llenamos la tabla “Propiedades del Oscilador”, especificando que queremos 1GL con una fracción de amortiguamiento de 0.008, masa de 2,000 kg, rigidez de 64,000 N/m y altura de 15 m, como se muestra en la Figura 72b.

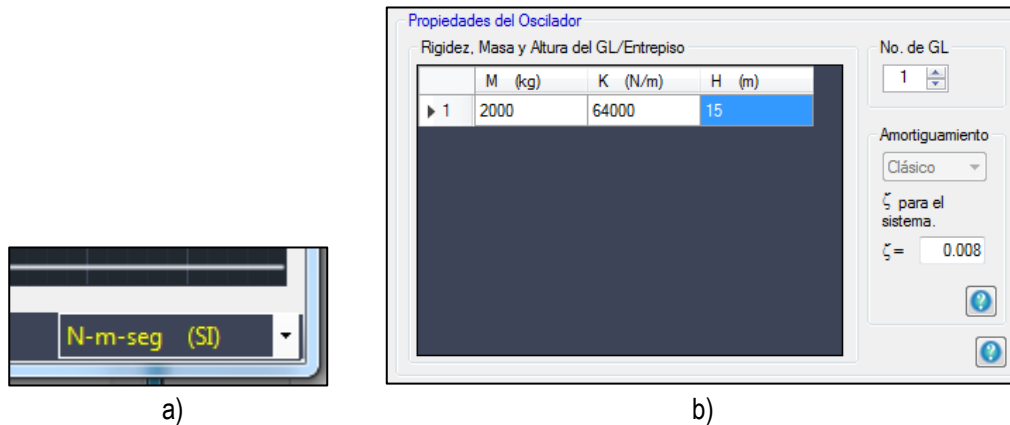


Figura 72. a) Unidades en SI (N-m-seg); b) Propiedades del anuncio espectacular.

Oprimiendo el botón “Análisis Dinámico” seleccionamos la pestaña “Met. Analítico” y después introducimos los parámetros para calcular las Fuerzas de Arrastre, que son Densidad del Aire de 1.23 kg/m³, Velocidad Media de 25 m/s, Coeficiente de Arrastre de 1.5, Perfil de Exposición del Terreno tipo B, y Área expuesta de 24 m², así como se muestra en la Figura 73a; después en la siguiente ventana solamente especificamos la FDPE de Kaimal y presionamos el botón “Iniciar Análisis Dinámico”, así como se muestra en la Figura 73b.

Después que el programa termine de hacer el análisis iremos al espacio “Respuestas Máximas” en donde nos dirá que para este ejemplo que se desarrolló el desplazamiento máximo del GL 1 se encuentra en el punto 5109 de la señal y equivale a $D = 132.724 \text{ cm}$, como se muestra en la Figura 72; el Cortante máximo del GL 1 se encuentra en el punto 5109 de la señal y equivale a $V = 84,943.005 \text{ N}$, como se muestra en la Figura 75; y el Momento de Volteo máximo del GL 1 se encuentra en el punto 5109 y equivale a $M_V = 1,274,145.818 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Cabe mencionar que como el ejemplo es de 1GL, la casilla “GL/Nivel de Referencia” permanece en 1 debido a que las respuestas que queremos conocer se encuentran en el GL 1.

Resultados de la parte 1:

Desplazamiento máximo, <i>cm</i>	132.724
Cortante máximo, <i>N</i>	84,943.055
Momento de Volteo máximo, <i>N-m</i>	1,274,145.818

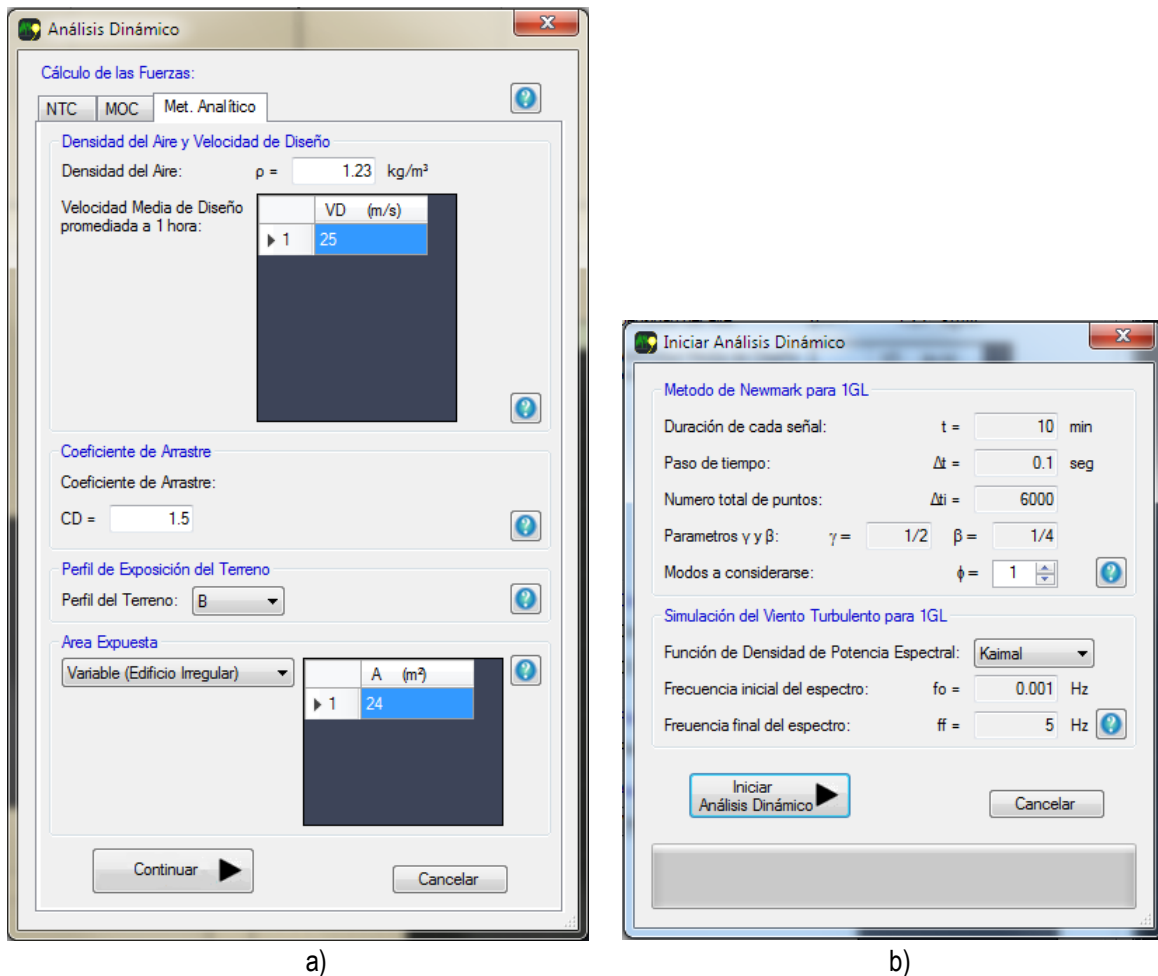


Figura 76. a) Parámetros para determinar las Fuerzas de Arrastre; b) Especificamos la FDPE de Kaimal.

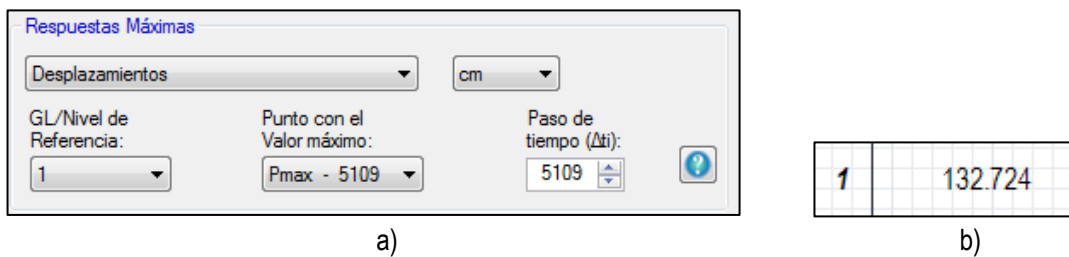


Figura 74. a) Punto de la señal donde se encuentra el Desplazamiento máximo; b) Captura del desplazamiento máximo en cm.

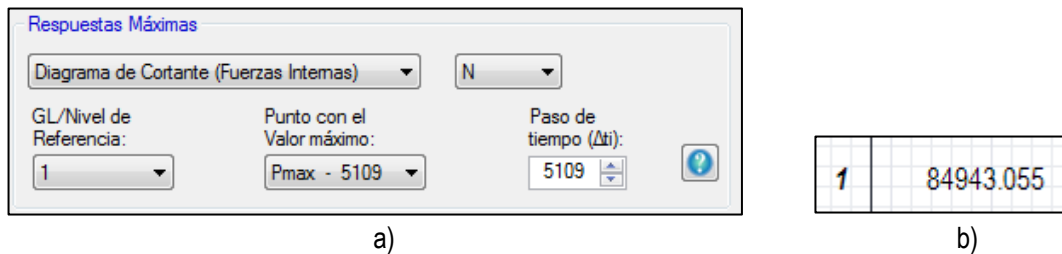


Figura 75. a) Punto de la señal donde se encuentra el Cortante máximo; b) Captura del Cortante máximo en N.

Resultados de la parte 2:

Oprimiendo el botón “Resultados Gráficos del Modelo” nos abrirá dicha ventana y aquí solo seleccionamos en cualquiera de las tres graficas los resultados que deseemos. Para nuestro caso todos los resultados los queremos en el GL 1; a continuación se muestran las gráficas de Velocidad de Viento Turbulento (Figura 76), Desplazamientos (Figura 77), Velocidades (Figura 78) y Aceleraciones (Figura 79).

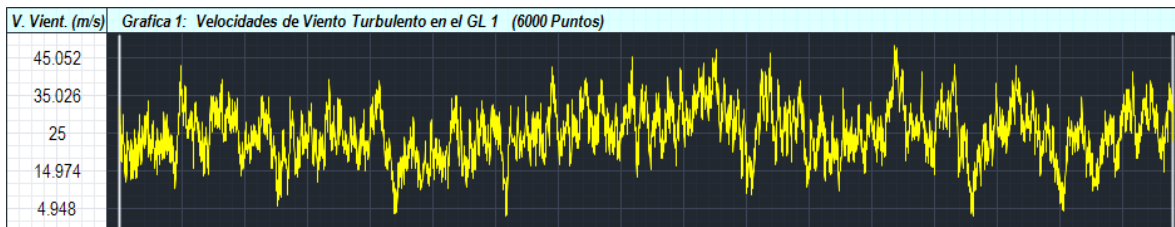


Figura 76. Gráfica de la Velocidad de Viento Turbulento en el GL 1 en m/s.

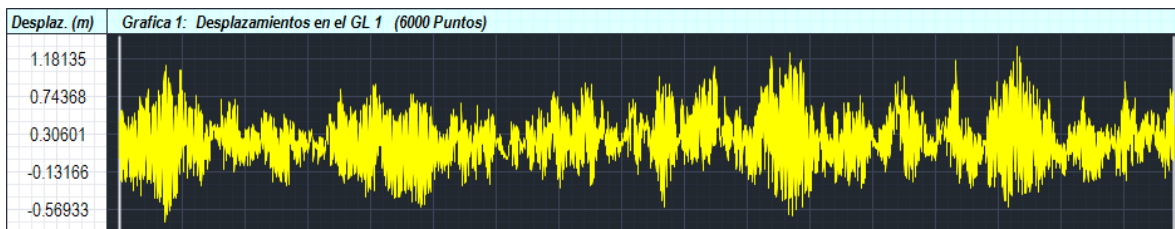


Figura 77. Gráfica de Desplazamientos en el GL 1 en m.

En el punto 1 del ejemplo se mostró que el desplazamiento máximo ocurre en el punto 5109 de 6000, y en esta gráfica se puede observar que este desplazamiento ocurre casi al término de la señal que es en donde está este punto.

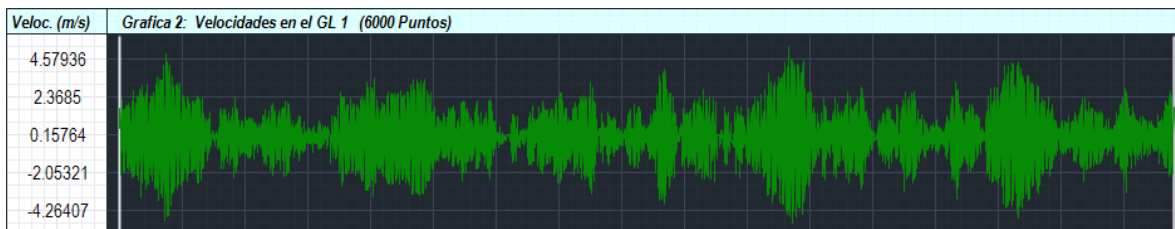


Figura 78. Gráfica de las Velocidades del oscilador en el GL 1 en m/s.

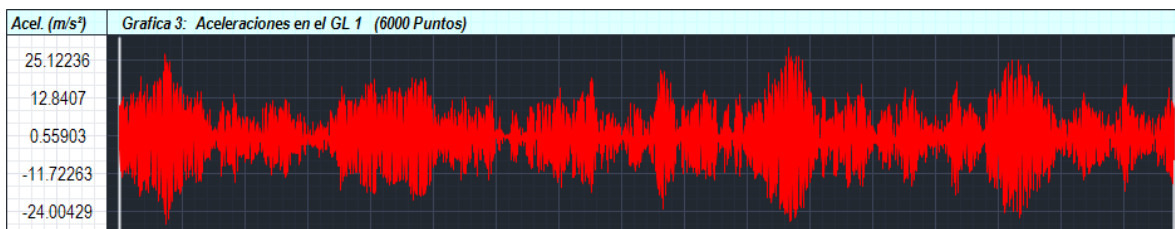


Figura 79. Gráfica de las Aceleraciones del oscilador en el GL 1 en m/s².

Tanque elevado

Ejemplo: Tanque elevado (Figura 80):

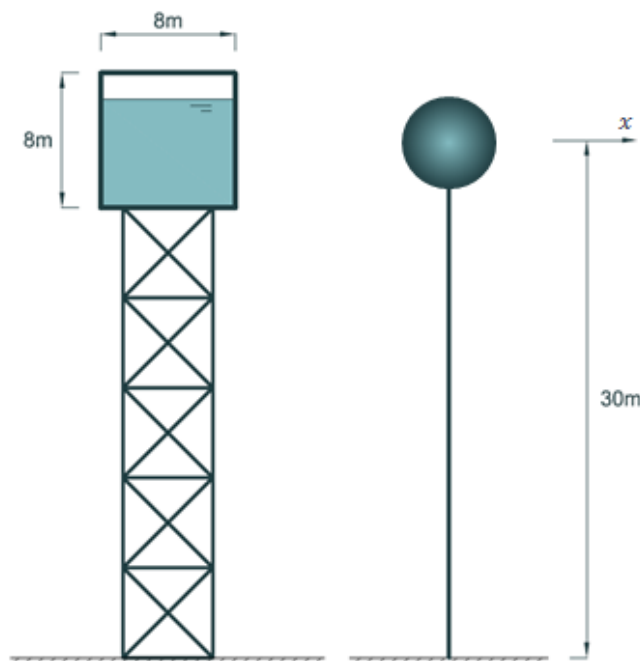


Figura 80. Tanque elevado representado como un oscilador de 1GL.

Analice el tanque elevado de la Figura 80 asumiendo que puede ser representado como una estructura puntual (oscilador de 1GL) y desprecie el efecto del viento sobre la estructura de soporte. La información de la estructura y las condiciones del viento en el sitio se presentan en la sig. tabla:

Masa, m (Kg)	500,000
Rigidez, k (N/m)	11,100,000
Porcentaje de amortiguamiento, ζ	0.01
Velocidad Regional, V_R (km/h)	120 (Ensenada, B. C., Tipo A, 200 años)
Coefficiente de arrastre, C_D	1.5
Perfil de Exposición del Terreno	Terreno plano con pocas obstrucciones. <u>Terreno tipo</u> <u>2 según el MOC</u>

1. Realice un Análisis **Estático** utilizando el criterio del Manual de Obras Civiles (MOC) incluyendo el factor de amplificación dinámica (FAD) y determine el desplazamiento y el momento de volteo máximo.
2. Realice un Análisis **Dinámico** utilizando el criterio del Manual de Obras Civiles (MOC) con la FDPE de Kaimal y determine el desplazamiento y el momento de volteo máximo.

Solución: Tanque elevado

Primero cambiamos el sistema de unidades a SI (Figura 79a), después llenamos la tabla “Propiedades del Oscilador” especificando que queremos 1GL con una fracción de amortiguamiento de 0.01, masa de 500,000 kg, rigidez de 11,100,000 N/m y altura de 30 m, como se muestra en la Figura 79b.

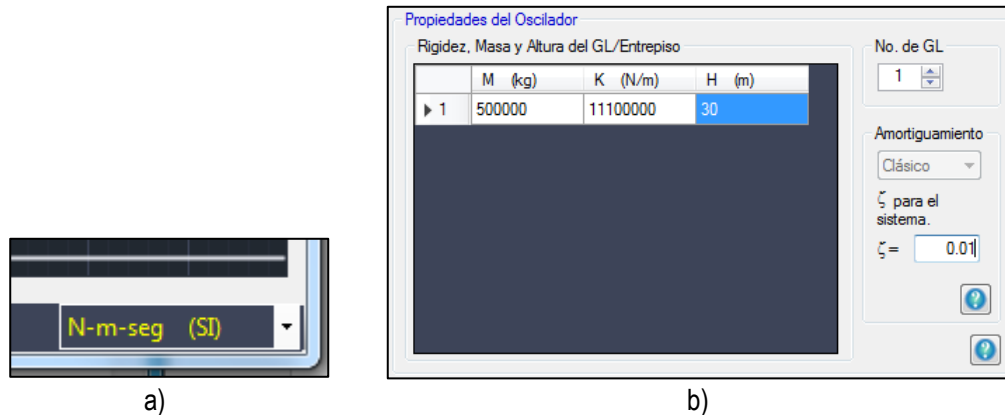


Figura 81. a) Unidades en SI (N-m-seg); b) Propiedades del tanque elevado.

Oprimiendo el botón “Análisis Estático” seleccionamos la pestaña “MOC” e introducimos los parámetros necesarios para determinar la velocidad de diseño y la fuerza de arrastre, que son Velocidad Regional con un periodo de retorno de 200 años (Construcción tipo A), en Ensenada, B. C., Factor de Exposición 2, Topografía del terreno Normal, Área expuesta de 64 m², Cpe (Sotavento) = -0.5, Cpi = -0.2, KA = 0.85, KL = 1.25, habilitando la casilla del FAD introducimos el tipo de estructura como “Torre de Celosía Atornillada”, amortiguamiento aerodinámico = 0, amortiguamiento por mecanismos especiales = 0, calcular estructura como “Masa concentrada (anuncios o tanques elevados), b = 8m y presionamos el botón “Iniciar Análisis Estático”, como muestra la Figura 82.

Después que el programa realice el análisis nos dirigimos al espacio “Respuestas Estáticas del Oscilador” donde seleccionamos el tipo de respuesta que necesitamos (Figura 83), que para nuestro ejemplo son el desplazamiento máximo $D = 1.051 \text{ cm}$, y el momento de volteo $M_V = 3,500,961.075 \text{ N} \cdot \text{m}$.

Resultados de la parte 1:

Desplazamiento máximo, <i>cm</i>	1.051
Momento de Volteo máximo, <i>N-m</i>	3,500,961.075

Para conocer el valor del FAD nos dirigimos al botón “Resultados Numéricos del Modelo” que se encuentra en la barra de herramientas y seleccionamos en la lista desplegable “Factor de Amplificación Dinámica (adim.)” (Figura 84a) y automáticamente se mostrara el valor del FAD que es $FAD = 1.24877$ (Figura 84b); par el caso de las NTC, el factor de amplificación se muestra como “G” y se calcula para cada GL; si se requiere conocer un mayor número de decimales podemos presionar el botón configuración con forma de llave inglesa y seleccionar el número de decimales que deseemos desde 0 a 15.

Análisis Estático

Cálculo de las Fuerzas:

NTC MOC Met. Analítico

Velocidad Regional, VR

Periodo de Retorno: 200 años

Zona o Región del País: Ensenada, B. C.

Velocidad Regional: VR = 120 km/h

Factor de Exposición, Frz

Categoría del terreno: 2

$\alpha = 0.128$ $c = 1$

$\delta = 315$ m

Factor de Topografía Local, FT

Sitio de la Estructura: Normal

FT = 1

Factor de Corrección por Temperatura y Altura, G

Altitud: 20 msnm

Temp. Ambiental: 16.1 °C $\Omega = 758.4$ mm de Hg

G = 1.02834 (adim.)

Area Expuesta

Variable (Edificio Irregular)

	A (m²)
► 1	64

Coefficiente y Factores de Presión

Cpe (Barlovento) = 0.8 KA = 0.85

Cpe (Sotavento) = -0.2 KL = 1.25

Cpi = -0.2

Factor de Amplificación Dinámica, FAD, y Aceleración máxima, Amax

☒ Considerar FAD y Determinar Amax

$\alpha' = 0.16$ $\alpha = 0.52$

b = 1 zo = 0.05 m

d = 0.19 zmin = 2 m

Tipo de Estructura: Torres de Celosía Atomilladas

Relación de Amortiguamiento Estructural: $\zeta_{est} = 0.005$

Amortiguamiento Aerodinámico: $\zeta_a = 0$

Amortiguamiento por Mecanismos Especiales: $\zeta_d = 0$

Calcular Estructura como (caso para 1GL): Masa concentrada (Anuncios o Tanques elevados)

Ancho de la Estructura: b = 8 m

Densidad del Aire: $\rho = 1.23$ kg/m³

Iniciar Análisis Estático

Cancelar

Figura 82. Parámetros para determinar las Fuerzas de Arrastre con el criterio del MOC.

Respuestas Estáticas del Oscilador

Desplazamientos

Fuerzas Actuantes

Desplazamientos

Diagrama de Cortante

Momento de Volteo

Distorsión de Entrepiso

cm

Modos de Vibrar

Modo: 1

Figura 83. Tipo de respuestas que se muestran para el "Análisis Estático".

a)

Mostrar: Desplazamientos (m)

► 1	Matriz de Masa (Kg)
	Matriz de Rigidez (N/m)
	Fuerzas Estáticas Actuantes (N)
	Desplazamientos (m)
	Fuerzas Cortantes (N)
	Momento de Volteo (N-m)
	Distorsión de Entrepiso (Adim.)
	Frecuencia del 1er Modo (Hz)
	Factor de Amplificación Dinámica (adim.)
	Aceleración máxima (milli-g)

b)

Mostrar: Factor de Amplificación Dinámica

FAD
► 1 1.24877

Figura 84. a) Muestra el tipo de respuesta para conocer el FAD; b) Captura del FAD.

Presionamos el botón “Desbloquear controles” para deshacer el Análisis realizado y empezar uno nuevo, después presionamos el botón “Análisis Dinámico”, seleccionamos la pestaña “MOC” e introducimos los mismos parámetros que se introdujeron en el Punto 1, solo que sin los parámetros del FAD, se introduce la Velocidad Regional con un periodo de retorno de 200 años (Construcción tipo A), en Ensenada, B. C., Factor de Exposición 2, Topografía del terreno Normal, Área expuesta de 64 m², Cpe (Sotavento) = -0.5, Cpi = -0.2, KA = 0.85, KL = 1.25 como muestra la Figura 85, después presionamos el botón “Continuar” y en la siguiente ventana especificamos la FDPE de Kaimal como muestra la Figura 86 y presionamos el botón “Iniciar Análisis Dinámico”.

Figura 85. Parámetros para determinar la señal de Fuerzas de Arrastre con el criterio del MOC.

Después que el programa termine de hacer el análisis iremos al espacio “Respuestas Máximas”, seleccionamos el tipo de respuesta de desplazamiento y el programa mostrará automáticamente que el desplazamiento máximo se encuentra en el punto 3909 de la señal y equivale a $D = 1.229 \text{ cm}$, como se muestra en la Figura 87 y el Momento de Volteo máximo se encuentra en el punto 3909 y equivale a $M_V = 4,091,392.27 \text{ N} \cdot \text{m}$, como muestra la Figura 88 y en la Figura 89 se muestra la gráfica de Desplazamiento solo por motivos informativos.

Cabe mencionar que como el ejemplo es de 1GL, la casilla “GL/Nivel de Referencia” permanece en 1 debido a que las respuestas que queremos conocer se encuentran en el GL 1.

Resultados de la parte 2:

Desplazamiento máximo, <i>cm</i>	1.229
Momento de Volteo máximo, <i>N-m</i>	4,091,392.27

Iniciar Análisis Dinámico

Metodo de Newmark para 1GL

Duración de cada señal: $t = 10$ min

Paso de tiempo: $\Delta t = 0.1$ seg

Numero total de puntos: $\Delta t_i = 6000$

Parametros γ y β : $\gamma = 1/2$ $\beta = 1/4$

Modos a considerarse: $\phi = 1$

Simulación del Viento Turbulento para 1GL

Función de Densidad de Potencia Espectral: Kaimal

Frecuencia inicial del espectro: $f_o = 0.001$ Hz

Frecuencia final del espectro: $f_f = 5$ Hz

Iniciar Análisis Dinámico

Cancelar

Figura 86. Especificamos la FDPE de Kaimal.

Respuestas Máximas

Desplazamientos cm

GL/Nivel de Referencia: 1

Punto con el Valor máximo: Pmax - 3909

Paso de tiempo (Δt_i): 3909

1 1.229

Figura 87. a) Punto de la señal donde se encuentra el Desplazamiento máximo; b) Captura del desplazamiento máximo en cm.

Respuestas Máximas

Momento de Volteo (Fuerzas Internas) N-m

GL/Nivel de Referencia: 1

Punto con el Valor máximo: Pmax - 3909

Paso de tiempo (Δt_i): 3909

4091392.27

Figura 88. a) Punto de la señal donde se encuentra el Momento de volteo máximo; b) Captura del Momento de volteo máximo en N-m.

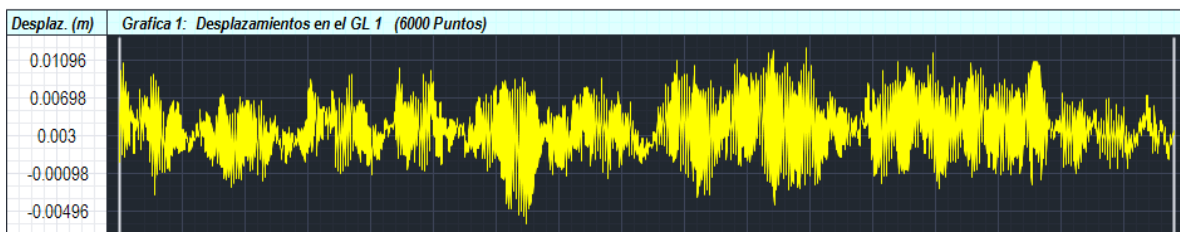


Figura 89. Gráfica de Desplazamientos en el GL 1 en m

Edificio de 10 niveles

Ejemplo: Edificio de 10 niveles (Figura 90):

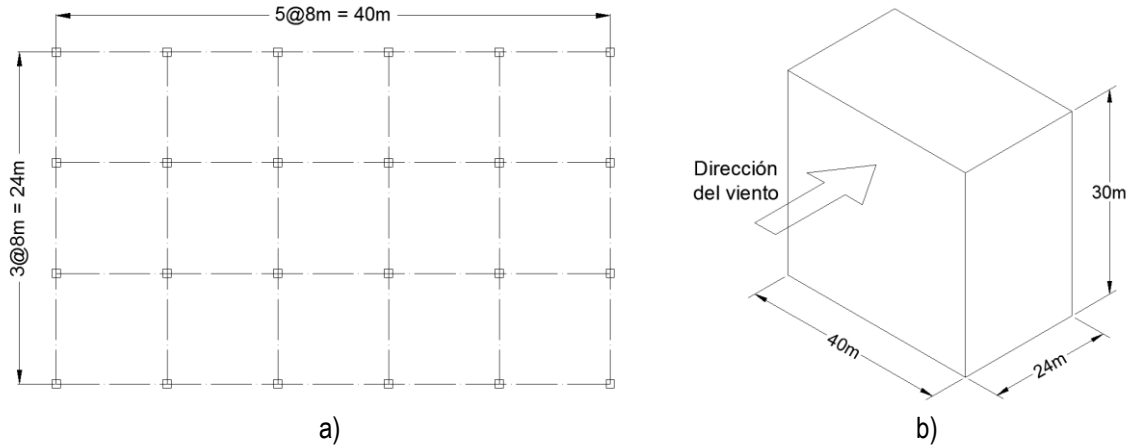


Figura 90. Dimensiones del Edificio de 10 niveles; a) Vista en planta; b) Dirección del Viento.

Considere el edificio de 10 niveles con las dimensiones que se muestran en la Figura 90; ubicado en Cozumel Q. Roo con topografía Normal. El edificio es de concreto reforzado con columnas de 90x90cm, vigas de 30x60cm en todos sus ejes, losa maciza de 12 cm de espesor en todos los paneles, resistencia del concreto de $f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$, altura en todos los entrepisos de 3 m y se supone una carga de ocupación de 500 kg/m^2 sin contar el peso propio de la estructura. La información restante de la estructura y las condiciones del viento en el sitio se presentan en la siguiente tabla:

Porcentaje de amortiguamiento, ζ	0.02
Velocidad Regional, VR (km/h)	200 (Cozumel, Q. Roo, Tipo B, 50 años)
Coeficiente de arrastre, C_D	1.2
Perfil de Exposición del Terreno	Área suburbana y de bosque con numerosas obstrucciones, <u>Supóngase tipo 3 en el programa.</u>

1. Determine la aceleración máxima en la azotea con el programa "Génesis SimVT".
2. Determine la aceleración máxima con el criterio del Manual de Obras Civiles (MOCDV-2008) utilizando el programa "Génesis SimVT".
3. Obtenga el desplazamiento máximo en la azotea, el cortante basal máximo, la distorsión de entrepiso máximo en el primer nivel y el de azotea y el momento de volteo máximo.

Solución: Edificio de 10 niveles

Primero se realizan los cálculos necesarios para determinar la masa y rigidez de cada nivel:

Peso de la estructura por nivel:

$$P_{col} = (0.9)(0.9)(3)(2,400) = 5,832 \text{ kg}$$

$$P_{vig} = (0.3)(0.6)(8)(2,400) = 3,456 \text{ kg}$$

$$P_{los} = (0.12)(8)(8)(2,400) = 18,432 \text{ kg}$$

$$P_{tot} = P_{col}(24) + P_{vig}(38) + P_{los}(15) = 547,776 \text{ kg}$$

Masa para cada nivel:

$$M_{niv} = \frac{P_{tot} + 500(24)(40)}{9.81} = 104,768 \frac{\text{kg} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$$

Rigidez de cada nivel:

$$E_c = 14,000\sqrt{250} = 221,359 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$K_{col} = \frac{12E_c(0.9)(0.9)^3}{12(300)^3} = 537,903 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$K_{niv} = K_{col}(24)(100) = 1,290,968,232 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Después se introducen estos datos al programa (Figura 91) y se presiona el botón “Análisis Dinámico” para introducir las condiciones del viento (Figura 92) y finalmente se presiona el botón “Iniciar Análisis Dinámico” para que el programa realice el Análisis.

	M (kgf·s²/m)	K (kgf/m)	H (m)
01	104768	1290968232	3
02	104768	1290968232	3
03	104768	1290968232	3
04	104768	1290968232	3
05	104768	1290968232	3
06	104768	1290968232	3
07	104768	1290968232	3
08	104768	1290968232	3
09	104768	1290968232	3
10	104768	1290968232	3

No. de GL: 10

Amortiguamiento: Rayleigh

ζ para el primer y segundo modos. ☒

ζ = 0.02

Figura 91. Propiedades del edificio de 10 niveles.

Análisis Dinámico

Cálculo de las Fuerzas:

NTC **MOC** Met. Analítico

Velocidad Regional, VR

Periodo de Retorno: 50 años

Zona o Región del País: Cozumel, Q. Roo

Velocidad Regional: VR = 200 km/h

Factor de Exposición, Frz

Categoría del terreno: 3

$\alpha' = 0.21$ $b = 0.77$

Factor de Topografía Local, FT

Sitio de la Estructura: Normal

FT = 1

Factor de Corrección por Temperatura y Altura, G

Altitud: 5 msnm

Temp. Ambiental: 25.9 °C $\Omega = 759.6$ mm de Hg

G = 0.99620 (adim.)

Area Expuesta

Constante (Edificio Prismático)

B = 40 m

Coficiente y Factores de Presión

Cpe (Barlovento) = 0.8 KA = 0.8

Cpe (Sotavento) = -0.2 KL = 1.25

Cpi = -0.2

Iniciar Análisis Dinámico

Cancelar

Figura 92. Parámetros para determinar las Fuerzas de Arrastre con el criterio del MOCDV-2008.

Para obtener la aceleración máxima en la azotea se dirige al espacio “Respuesta Dinámica del Oscilador” y al subespacio “Respuestas máximas” donde se selecciona en *GL/Nivel de referencia*, 10, ya que se requiere obtener la respuesta máxima en el GL 10 que es la azotea, después se selecciona el tipo de respuesta y las unidades que queremos, que para este ejemplo seleccionamos la respuesta de Aceleraciones (Figura 93) en *cm*; como el resultado varía cada vez que se corre el programa, se consideraron 30 análisis donde se extrajo la aceleración máxima y se determina el valor promedio que es $A_{max} = 36.779$ *milli – g* (Tabla 4.1).

Resultados de la parte 1:

Tabla 4.1 Aceleración máxima de 30 análisis dinámicos realizados con el programa “Génesis SimVT” con su resultado promedio.

Amax de 30 análisis realizados con “Génesis SimVT”	36.482	40.802	36.482	38.518	37.369
	40.210	33.536	29.953	43.651	41.813
	41.642	33.011	21.137	46.069	35.148
	34.327	35.865	35.638	42.417	40.338
	35.169	31.906	33.258	37.142	37.709
	36.063	35.615	31.332	41.960	38.809
Promedio Amax	36.779				

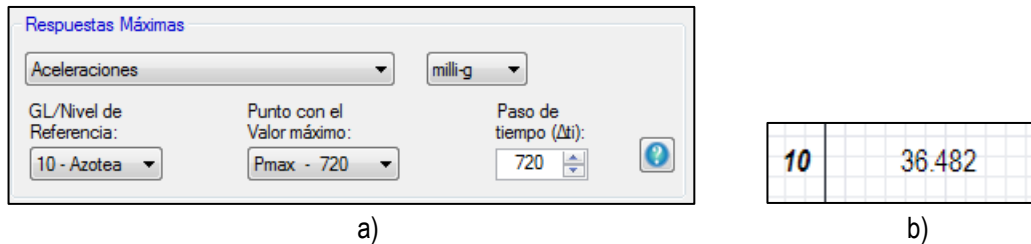


Figura 93. a) Punto de la señal donde se encuentra la Aceleración máxima; b) Captura de la Aceleración máxima en *milli-g*.

A continuación determinaremos la aceleración máxima con el criterio del MOCDV-2008 en el programa, primero deshacemos el análisis realizado presionando el botón “Desbloquear controles”, seguido presionamos el botón “Análisis Estático” y en la pestaña del MOC introducimos los parámetros de la Parte 1 (Figura 92) y adicionalmente seleccionamos la opción *Considerar FAD y Determinar Amax* para que el programa calcule la aceleración máxima, especificamos ahí mismo como tipo de estructura *Edificios de concreto reforzado y presforzado* para especificar la fracción de amortiguamiento, en la Figura 94 se muestra la ventana “Análisis Estático” llena con los parámetros anteriores; y presionamos “Iniciar Análisis Estático”.

La fracción de amortiguamiento que se emplea cuando se calcula la aceleración máxima con el criterio del MOCDV-2008 es la que se especifica en la Figura 94, el tipo y fracción de amortiguamiento que se especifique en el espacio “Propiedades del Oscilador” no se toma en cuenta en el Análisis Estático.

Figura 94. Parámetros para determinar las Aceleración máxima con el criterio del MOCDV-2008.

Para conocer el valor de la aceleración máxima nos dirigimos al botón “Resultados Numéricos del Modelo” y seleccionamos en la lista desplegable “Aceleración máxima (milli-g)” (Figura 95a) y automáticamente se mostrara el valor de la A_{max} que es $A_{max} = 29.72 \text{ milli-g}$ (Figura 95b).

Resultados de la parte 2:

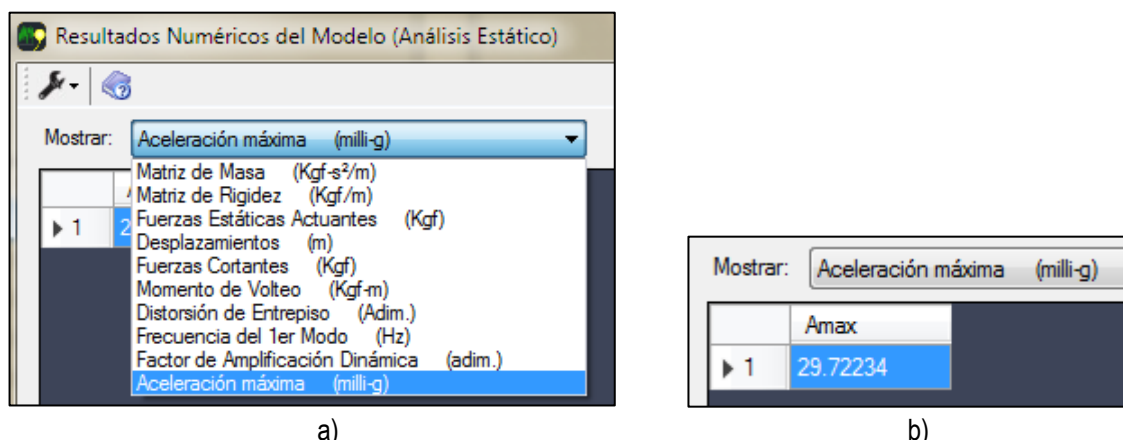


Figura 95. a) Tipo de respuesta *Aceleración máxima*; b) Captura de la aceleración máxima.

Resultados de la parte 3:

Para obtener las respuestas máximas nos dirigimos al espacio “Respuestas máximas” y seleccionamos el tipo de respuesta en el GL que queremos conocer; para conocer el desplazamiento máximo en la azotea especificamos el tipo de respuesta *Desplazamientos* y en *GL/Nivel de referencia*, 10 (Figura 96).

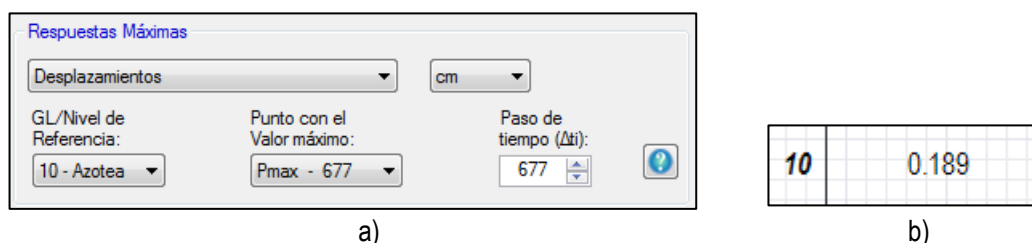


Figura 96. a) Desplazamiento máximo en el GL 10; b) Captura del Desplazamiento máximo en *cm*.

Para el caso del cortante basal especificamos el tipo de respuesta *Diagrama de Cortante (Fuerzas Internas)* y en *GL/Nivel de referencia*, 1 (Figura 97), se puede observar que el cortante basal máximo no se presenta en el punto donde está el desplazamiento máximo de la azotea.

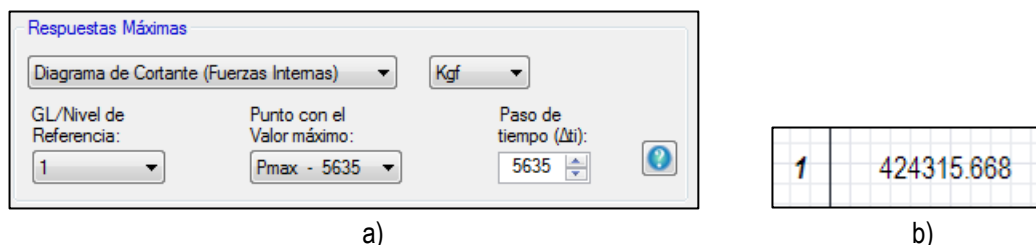


Figura 97. a) Fuerza cortante máxima en el GL 1; b) Captura del Cortante basal máximo en *kgf*.

A continuación se presenta la distorsión de entrepiso en los GL 1 (Figura 98) y 10 (Figura 99), se puede observar que no necesariamente la distorsión de entrepiso máxima de estos dos niveles se encuentran en el mismo punto de la señal.

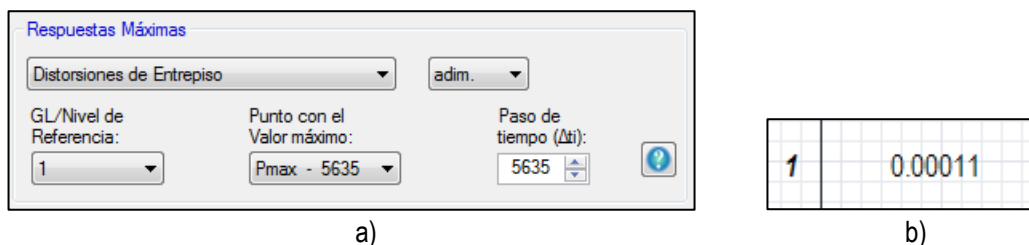


Figura 98. a) Distorsión de entrepiso máxima en el GL 1; b) Captura de la Distorsión de entrepiso máxima *Adim.*

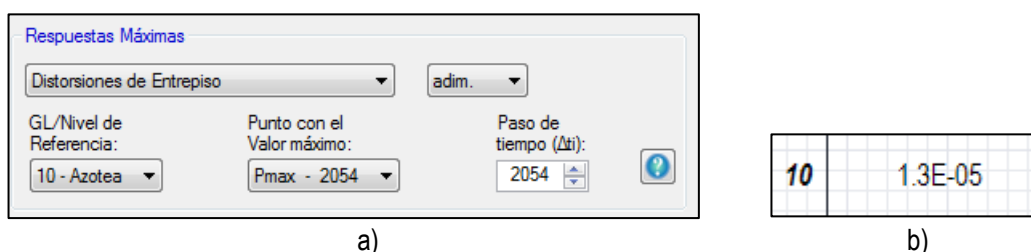


Figura 99. a) Distorsión de entrepiso máxima en el GL 10; b) Captura de la Distorsión de entrepiso máxima *Adim.*

Por ultimo especificamos el tipo de respuesta *Momento de Volteo (Fuerzas Internas)* y automáticamente el *GL/Nivel de referencia* se bloqueara debido a que este tipo de respuesta involucra todos los GL (Figura 100).

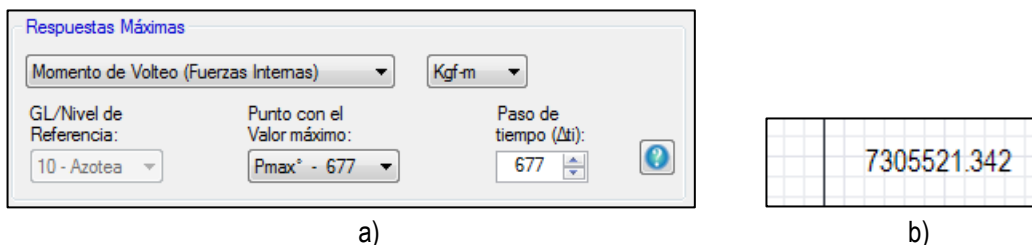


Figura 100. a) Momento de volteo máximo de toda la estructura 1; b) Captura del Momento de Volteo *Kgf-m*.

Referencias

- CFE. (2008). "Manual de Diseño de Obras Civiles: Diseño por Viento". México.
- Chopra, A. K. (2014). "Dinámica de Estructuras" Cuarta Edición. Estado de México: Pearson.
- J. Meseguer, Á. S. (2013). "Aerodinámica Civil: Efectos del viento en edificaciones y estructuras" 2ª Edición. Madrid: Garceta
- Microsoft Corporation. (2010). "Programa: Microsoft Visual Basic 2010, Express Edition". EUA.
- Simiu E. y Scanlan R. (1996). "Wind effects on structures: fundamentals and applications to design". Nueva York, EUA: John Wiley.
- RCDF. (2004). "Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento". México.
- Samaras, E., Shinozuka, M., & Tsurui, A. (1985). "ARMA Representation of Random Processes". ASCE.
- Tedesco, J. W., McDougal, W. G., & Ross, C. (1999). "Structural Dynamics: Theory and Applications". EUA: Pearson.
- Zhou, Y., Kijewski, T., & Kareem, A. (2002). "Along-Wind Load Effects on Tall Buildings: Comparative Study of Major International Codes and Standards". ASCE.