

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

**Cálculo Sísmico Automático de Estructuras de Varios
Grados de Libertad en Rangos Elásticos de
Deformaciones
Sistematización de Experiencias prácticas de investigación**

Bryan Alexis Argüello Martínez de la Vega

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 29 de mayo de 2017

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERIA

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Cálculo Sísmico Automático de Estructuras de Varios Grados de
Libertad en Rangos Elásticos de Deformaciones**

Bryan Alexis Argüello Martínez de la Vega

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Fabricio Yépez, Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 29 de mayo de 2017

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Bryan Alexis Argüello Martínez de la Vega

Código: 00107647

Cédula de Identidad: 1716632748

Lugar y fecha: Quito, 29 de mayo de 2017

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres quienes siempre me han apoyado incondicionalmente a lo largo de toda mi vida y estudios, ya que sin ellos nada de esto hubiese sido posible. A mi padre por ser la persona que me ha apoyado y acompañado en cada instante de mi carrera para poder salir adelante y a mi madre por ser mi apoyo moral y comprenderme en este transcurso.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Dios, a mi familia, a mi novia y todos los seres queridos por ser mi apoyo para todos los logros realizados. De igual manera agradezco a todas las personas que se vieron involucrados en el desarrollo de este proyecto y apoyaron el mismo.

RESUMEN

El análisis de comportamientos de estructuras frente a un sismo es un tema el cual tiene mucho énfasis hoy en día. La necesidad de estos análisis es de gran relevancia para revisar estructuras frente a sollicitaciones sísmicas, ya sea en su etapa de pre-diseño o en el análisis de estructuras existentes.

El programa realizado en el presente proyecto sirve para el análisis sísmico dinámico elástico de estructuras de varios grados de libertad frente a una sollicitación sísmica.

La idea del proyecto consiste en la creación de una interfaz gráfica la cual sea de carácter interactiva con el usuario, y pueda obtener resultados respecto a la respuesta y propiedades de una estructura impuesta.

Palabras clave: Análisis, Sollicitaciones sísmicas, Dinámico elástico, Varios grados de libertad, Interfaz gráfica.

ABSTRACT

The analysis of behaviors of a structure against an earthquake is a subject that has a lot of attention now a day. The needs of this analysis are of great relevance to check structures against seismic inputs, whereas these structures are on their design stage or at the analysis of an existing structures.

The program carried out in the present project is for the seismic elastic dynamic analysis of structures of several degrees of freedom against a seismic input.

The idea of the project consists on the creation of a graphical interphase which would be interactive with its user and it can obtain results from a structure response and properties.

Key words: Analysis, Seismic inputs, Elastic Dynamic, Several degrees of freedom, graphical interphase.

TABLA DE CONTENIDO

1	CAPITULO 1	13
1.1	Introducción	13
1.1.1	Antecedentes.....	13
1.1.2	Objetivo	17
1.1.3	Alcance	17
1.1.4	Importancia	20
1.1.5	Métodos de cálculo	26
2	Capítulo 2	36
2.1	Programación del análisis dinámico de estructuras en Matlab	36
2.1.1	¿Por qué Matlab?	36
2.1.2	Estructuración del programa.....	37
2.1.3	Ejemplos de aplicación.....	42
2.1.4	Manual del usuario.....	83
3	Capítulo 3	135
3.1	Conclusiones y futuras líneas de trabajo	135
3.1.1	Conclusiones.....	135
3.1.2	Futuras líneas de trabajo.....	136
4	Apéndice A.....	139
4.1	Anexo 1.....	139
4.1.1	Opciones de análisis.....	139
4.2	Anexo 2.....	140
4.2.1	Link para descarga de programa.....	140
5	Bibliografía.....	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tasa de mortalidad de terremotos en Chile (obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Chile#Lista_de_terremotos).....	22
Tabla 2. Tasa de mortalidad de terremotos en Ecuador (obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Ecuador)	24
Tabla 3. Factor de sitio F_a obtenido de NEC (Obtenido de NEC 2015 Cap. 3)	110
Tabla 4. Factor de comportamiento inelástico F_s obtenido de NEC (Obtenido de NEC 2015 Cap. 3).....	110
Tabla 5. Factor de sitio F_d obtenido de NEC (Obtenido de NEC 2015 Cap. 3).....	111
Tabla 6. Combinaciones a correr del programa	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Amplitud de ondas submarinas para el terremoto de Chile en 1960 (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/Tsunami_travel_time_Valdivia_1960.jpg)	21
Figura 2. Epicentro terremoto 16 de abril 2016 Ecuador (obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Ecuador_de_2016).....	25
Figura 3. Mapa de intensidades terremoto 16 de abril 2016 Ecuador (obtenido de https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#shakemap)	25
Figura 4. Sistema dinámico en consideración para la ecuación de movimiento	27
Figura 5. Diagrama de flujo general	38
Figura 6. Diagrama de flujo para la definición de propiedades	39
Figura 7. Diagrama de Flujo para definir Función Sísmica.....	40
Figura 8. Diagrama de Flujo de resultados a partir del análisis.....	41
Figura 9. Creación de nuevo modelo	44
Figura 10. Cuadros llenados para estructuras con columnas rectangulares.....	45
Figura 11. Cuadros llenados para funciones sísmicas de registros históricos	46
Figura 12. Programa ejecutado con análisis de superposición modal	47
Figura 13. Resultados de acelerograma, espectro de respuesta de aceleraciones y tabla de pseudo espectros calculados	49
Figura 14. Resultados de espectro de desplazamientos, modo fundamental de vibración de la estructura y tabla de fuerzas, desplazamientos máximos y derivas	49
Figura 16. Resultados de animación de la estructura en el tiempo y tabla de desplazamientos en el tiempo	50
Figura 17. Geometría de la estructura modelada en ETABS.....	51
Figura 18. Dimensiones de columnas asignadas en ETABS	52
Figura 19. Función sísmica ingresada como registro de aceleraciones al programa de ETABS.....	53
Figura 20. Ingreso de sentido de afectación del sísmo y corrección debido a unidades ETABS.....	54
Figura 21. Modelamiento de masas impuestas por piso en ETABS.....	55
Figura 22. Modo fundamental de vibración de la estructura ETABS.....	56
Figura 23. Desplazamientos máximos de la estructura ETABS	57
Figura 24. Datos de propiedades para columnas circulares ingresados en el programa..	59
Figura 25. Datos ingresados del registro de espectro de aceleración	60
Figura 26. Resultados de tabla de espectros y gráficos de espectro de aceleraciones ingresado y espectro de desplazamientos	62
Figura 27. Resultados de desplazamientos, fuerzas máximas y derivas en tabla y modo de vibración fundamental de la estructura	63
Figura 28. Geometría de la estructura modelada en ETABS ejemplo 2.....	64
Figura 29. Dimensiones de columnas asignadas en ETABS ejemplo 2	65
Figura 30. Función sísmica ingresada como espectro de aceleraciones al programa de ETABS.....	66
Figura 31. Ingreso de sentido de afectación del espectro y corrección debido a unidades ETABS ejemplo 2.....	67

Figura 32. Modelamiento de masas impuestas por piso en ETABS ejemplo 2.....	68
Figura 33. Modo fundamental de vibración de la estructura ETABS ejemplo 2.....	69
Figura 34. Desplazamientos máximos de la estructura ETABS ejemplo 2	70
Figura 35. Viga tipo I impuesta en ejemplo 3.....	72
Figura 36. Datos de propiedades y rigidez para columnas ingresados en el programa ...	73
Figura 37. Datos ingresados para espectro NEC y cálculo de espectro de diseño.....	74
Figura 38. Resultados de espectros y tabla de fuerzas, desplazamientos y derivas.....	76
Figura 39. Resultados de espectro de desplazamientos, modo fundamental de vibración de la estructura y tabla de cortante basal, peso de la estructura y coeficiente sísmico	76
Figura 40. Geometría de la estructura modelada en ETABS.....	77
Figura 41. Dimensiones de columnas asignadas en ETABS	78
Figura 42. Función sísmica ingresada como espectro de diseño NEC al programa de ETABS.....	79
Figura 43. Ingreso de sentido de afectación del sísmo y corrección debido a unidades ETABS.....	80
Figura 44. Modelamiento de masas impuestas por piso en ETABS.....	81
Figura 45. Modo fundamental de vibración de la estructura ETABS.....	82
Figura 46. Desplazamientos máximos de la estructura ETABS	83
Figura 47. Pantalla inicial del programa	85
Figura 48. Menú Archivo.....	86
Figura 49. Pantalla desplegada en un nuevo modelo	88
Figura 50. Selector de archivos desplegado para abrir modelos.....	89
Figura 51. Selector de archivos desplegados para guardar modelos	91
Figura 52. Menú Definir	92
Figura 53. Sub menú Propiedades	93
Figura 54. Recuadros habilitados para definir una sección rectangular	94
Figura 55. Recuadros habilitados para definir una sección circular	96
Figura 56. Recuadros habilitados para definir rigidez por piso de la estructura.....	98
Figura 57. Sub menú Función Sísmica	99
Figura 58. Recuadros habilitados para ingresar un registro histórico de aceleraciones	101
Figura 59. Recuadros habilitados para imponer un registro de espectro de respuesta de aceleraciones	103
Figura 60. Tipo de registro de espectro de aceleraciones esperado	104
Figura 61. Recuadros habilitados para imponer un espectro de diseño por NEC.....	106
Figura 62. Mapa NEC de zonificación para aceleración máxima en roca de Ecuador (Obtenido de NEC 2015 Cap. 3).....	109
Figura 63. Menú Análisis.....	112
Figura 64. Recuadros habilitados al definir un análisis por el método de superposición modal.....	114
Figura 65. Recuadro de indicación que funcionó el análisis corrido.....	115
Figura 66. Recuadros habilitados al correr un análisis por el método de análisis modal espectral	117
Figura 67. Menú resultados.....	119
Figura 68. Sub menú de gráficos	119
Figura 69. Cuadro de dialogo desplegado al momento de elegir modo de vibración....	124
Figura 70. Sub menú Tablas	125

Figura 71. Sub menú Matrices	129
Figura 72. Sub menú Reportes.....	134

CAPITULO 1

1.1 Introducción

1.1.1 Antecedentes.

Una de las causas más grandes de generación de terremotos en el mundo está relacionada a los movimientos tectónicos. Los movimientos de las placas tectónicas son tan antiguos como la vida misma de nuestro planeta tierra y se deben a la gran cantidad de energía encerrada al interior de la tierra la cual genera ese constante movimiento, buscando permanentemente la forma de liberarse hacia la superficie.

“Terremoto. - 1. m. Sacudida violenta de la corteza y manto terrestres, ocasionada por fuerzas que actúan en el interior de la Tierra.”¹

“Terremoto (del latín terra ‘tierra’, y motus ‘movimiento’), también llamado seísmo, sismo (del griego σεισμός [seismós]), temblor, temblor de tierra o movimiento telúrico, es un fenómeno de sacudida brusca y pasajera de la corteza terrestre producida por la liberación de energía acumulada en forma de ondas sísmicas. Los más comunes se producen por la actividad de fallas geológicas. También pueden ocurrir por otras causas como, por ejemplo, fricción en el borde de placas tectónicas, procesos volcánicos o

¹ Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española

incluso pueden ser producidas por el hombre al realizar pruebas de detonaciones nucleares subterráneas.” (Wikipedia, 2016)

En algunas civilizaciones milenarias como la China, existen evidencias desde hace ya 3000 años, tiempo en el cual podríamos decir que de alguna manera se iniciaron los estudios por el interés científico respecto de los terremotos o sismos y han sido registrados por escrito.

En América, existe también algún tipo de códices mayas y aztecas que dan noticias, refiriéndose a fenómenos sísmicos, así como posteriormente ya en la época de la colonia, algunos archivos de Indias, que dan nota de temblores o terremotos que sucedieron en América.

Ya en los siglos IV y V a. C., se esbozaban algunas teorías, respecto del origen de los terremotos, teorías que variaban desde razones físicas como el agua en sus diferentes formas, aire, tormentas, e incluso se llegó a esbozar alguna teoría un poco más cercana a las actuales en las que se atribuía a los terremotos, a derrumbes o colapsos de cavernas en las profundidades del planeta.

Alexander Von Humboldt², probablemente fue el primero en determinar algún tipo de relación entre los terremotos y las fallas geológicas, documentados in situ de los diferentes fenómenos naturales sucedidos en varias zonas del planeta, incluso llegó a

² Archivo Histórico del Banco Central del Ecuador, actualmente Ministerio de Cultura

determinar también incidencias relacionadas entre las erupciones y los tremores geológicos.

Los grandes terremotos ocurridos en América y en el resto del mundo, que causaron enormes cantidades de muertes de seres humanos, han sido sustento para el desarrollo científico, que pretenden lograr llegar a predecir cuándo pueden llegar a suceder grandes terremotos.

La ciencia ha avanzado muchísimo en los últimos años, cada vez se han documentado de mejor manera los grandes terremotos. Se ha podido llegar a determinar a ciencia cierta la existencia de placas intercontinentales, que están en movimiento permanente, movimientos que son tanto verticales como horizontales, y que ocasionan pequeños o grandes sismos mediante fricción entre las mismas, que actualmente son monitoreados y medidos de manera precisa con técnicas geodésicas satelitales.

En el Ecuador, se ven edificaciones muy antiguas, algunas en ruinas, otras en pie, que datan incluso desde antes de la época de la colonia, en las cuales se han utilizado diferentes de tipos de materiales de construcción, entre ellos, caña, madera, piedra, de manera incipiente, otros elementos ya un poco más elaborados, como el adobe, ladrillo, bloques, concreto, y diferentes metales, mostrándose las características de los diferentes materiales utilizados, al resistir de diferente manera el embate de sismos, dejando valiosas conclusiones.

Desde hace dos décadas aproximadamente, el desarrollo de tecnología informática o de sistemas binarios, han implicado un crecimiento exponencial de las aplicaciones y sistemas para experimentar de manera virtual como actúan las diferentes aceleraciones sísmicas en una edificación, por ello la importancia de la presente tesis,

que pretende aportar mediante el desarrollo de un sistema virtual, que permita ver cómo reacciona la edificaciones construidas con diferentes materiales al momento de soportar un terremoto.

Se pueden desarrollar aplicaciones en diversos tipos de programas creados sobre la base de lenguajes como lo son C, C++, Java, entre otros, que nos permitan analizar gran cantidad de datos numéricos, evidenciándolos de una manera gráfica y visual.

Una de las mejores herramientas para poder desarrollar la aplicación que se pretende, debe poder procesar paradigmas numéricos múltiples, que permita integrar datos con funciones gráficas artificiales para la implementación de algoritmos.

Otra de las razones importantes a considerar para el desarrollo de la aplicación, es que sea amigable para los usuarios finales, que se encuentren ejerciendo profesiones como la ingeniería civil y la ciencia, y que pueden contar con un software de fácil utilización y que demuestre visualmente los impactos de un sismo en una estructura virtual, antes de ser construida, lo que ayudará a planificar una mejor selección de los materiales y de la edificación en sí mismo al momento de suceder un terremoto de alta intensidad que pueda tener aceleraciones horizontales, que puedan devenir en el agotamiento de los materiales, y por ende el colapso de las estructuras, con el propósito de que las mismas, coadyuven a preservar la vida de los seres humanos, realizando construcciones que puedan resistir eventos sísmicos de alta intensidad y magnitud, como los que han ocurrido en el Ecuador, que se encuentra ubicado en una zona eminentemente sísmica, dentro del cinturón de fuego del Pacífico.

MATLAB³, es la herramienta escogida para desarrollar la aplicación de la presente tesis, que permitirá analizar gran número de datos, y ver gráficamente el comportamiento de una estructura al momento de sufrir un sismo cualquiera, logrando de esta manera, mejorar la estructura si se encuentra en etapas de pre-dimensionamiento, modificando los materiales, así como las dimensiones, para lograr soportar exitosamente las aceleraciones horizontales que se suceden durante un terremoto.

1.1.2 Objetivo

El objetivo principal del Proyecto de Titulación es elaborar un programa el cual sea capaz de analizar los desplazamientos y fuerzas equivalentes, experimentadas por una estructura de varios grados de libertad frente a una sollicitación sísmica, un espectro de respuesta dado o frente a un espectro de diseño de tipo código de construcción.

1.1.3 Alcance

El proyecto se limita al modelamiento de estructuras a través de un eje de cortante, el cual toma en consideración las masas concentradas en cada losa y la resistencia a desplazamientos obtenido por las rigideces de las columnas. Para el caso práctico se desprecia el efecto de la flexión de las vigas sobre la respuesta sísmica de la estructura y de igual manera se ha despreciado la masa aportada por las mismas; sin

³ <https://en.wikipedia.org/wiki/MATLAB>

embargo, el usuario si lo desea podría tomar en cuenta masas equivalentes que se redistribuyan para las losas las cuales involucren las masas de las columnas y las vigas, así como cualquier otro elemento que el usuario considere de relevancia para el cálculo.

Se ha demostrado que, a efecto de la estimación de las fuerzas laterales sísmicas equivalentes, los modelamientos a través de ejes de corte se aproximan de manera muy considerable a los modelamientos de estructuras reales y que el error que puede producir este modelamiento es mínimo respecto al real en tres dimensiones.

Se debe tomar en cuenta que, ya que el modelamiento es en base a un eje de cortante, el mismo no toma en cuenta efectos por torsión en planta debidos a su configuración en planta o elevación de la estructura. El modelo se limita únicamente a realizar una buena aproximación para los desplazamientos y fuerzas equivalentes sufridas por la estructura impuesta frente a una sollicitación sísmica.

El programa elaborado toma en consideración para su modelamiento tres principales tipos de columnas en hormigón para el cálculo de rigidez los cuales son de tipo circulares, cuadradas y rectangulares. El programa, sin embargo, no se encuentra limitado por la geometría de la estructura. Si la estructura se encuentra compuesta de cualquier otro material distinto al hormigón o cualquier otra geometría distinta a las mencionadas, el programa permite ingresar directamente la rigidez por piso que posee la estructura, tomando en cuenta que la rigidez a desplazamiento está siendo calculada mediante la siguiente ecuación.

$$t = \frac{12EI}{L^3} \quad (1)$$

Donde,

t: es la rigidez a desplazamiento de las columnas

E: es el módulo de elasticidad del material de las columnas

I: es el momento de inercia de la sección transversal de la columna.

L: es la longitud o altura (entre ejes) de la columna

Podría ser recomendable que si las columnas de la estructura no son empotradas en ambos lados se debe considerar ingresar la rigidez por piso con los cálculos correctos de la misma, mas no ingresar los dimensionamientos de las columnas, ya que esto no modelaría el comportamiento real de la estructura.

El programa se ha diseñado para que pueda analizar una estructura frente a sollicitaciones sísmicas ingresadas por el usuario. Las funciones sísmicas que pueden ser ingresadas por el usuario se limitan a:

- Registros históricos
- Espectros de Aceleraciones
- Espectros de diseño calculados mediante NEC-SE-2015

Para el análisis de la estructura el programa da la oportunidad de calcular las respuestas estructurales mediante dos métodos:

- Método de Superposición Modal
- Método de Análisis Modal Espectral

El usuario está en la capacidad de analizar mediante cualquiera de los dos métodos mencionados de los cuales se hablará en las siguientes secciones del documento. Sin embargo, se podría recomendar utilizar el método de superposición modal para un cálculo exacto frente a registros históricos y utilizar el método de análisis modal espectral frente a cualquier espectro impuesto.

El programa calculará principalmente los desplazamientos y fuerzas equivalentes para la estructura analizada. Independiente de esto y dependiendo del caso de estructura y función ingresadas, el programa también calculará los modos, periodos y frecuencias de vibración de la estructura, la matriz de rigidez y masas de la estructura, y por último los gráficos de los registros impuestos y los modos de la estructura.

El usuario podrá desplegar los resultados dentro de la interfaz y exportarlos a un archivo de texto o Excel para futuros cálculos deseados por el usuario. Además de esto el usuario tiene la opción de visualizar y grabar una animación de la estructura realizada en el tiempo, en el caso de haber ingresado un registro histórico de aceleraciones. Como parte final de la visualización de resultados el usuario puede generar un reporte en PDF o WORD el cual contendrá todos los resultados del análisis y las gráficas resultantes del análisis.

1.1.4 Importancia

La relevancia de la obtención de respuestas estructurales frente a cualquier sollicitación sísmica es primordial para un diseño estructural sismo-resistente.

Ecuador es un país altamente sísmico, razón por la cual es de suma importancia el diseño de estructuras sismo-resistentes. Para lograr esto se debe tomar en consideración los efectos de desplazamientos y posibles fuerzas equivalentes que podría sufrir la estructura a ser diseñada frente a un posible sismo, para que de esta manera, se pueda lograr un correcto dimensionamiento de elementos resistentes a las sollicitaciones por el posible sismo impuesto.

La importancia de reconocer las demandas estructurales de un sismo es de gran relevancia debido a que se puede a futuro realizar diseños estructurales tales que tengan

fallas dúctiles y estas no colapsen, razón por lo cual el programa realizado puede llegar a determinar esta demanda para un futuro buen diseño sismo-resistente para la preservación de vidas humanas lo cual le da una verdadera importancia a este proyecto.

Revisando datos histórico, en Chile, un terremoto de magnitud 9.5, tuvo lugar el 22 de mayo de 1960, probablemente es el sismo de mayor magnitud que ha ocurrido en el mundo, y que de alguna manera ha sido documentado, y no precisamente por el propio país, sino más bien por parte del servicio geológico de los Estados Unidos de Norteamérica, la particularidad de este evento, es que ocasionó un tsunami debido a que su epicentro se ubicó en el mar y fue una falla de carácter inverso, afectando a lugares remotos como Hawai, Japón y las Filipinas, incluso fue acompañado luego de pocas horas, de una erupción volcánica, ratificando la relación entre los movimientos de las placas tectónicas, con las erupciones volcánicas, todo esto ocasionó miles de decesos y enormes pérdidas materiales.

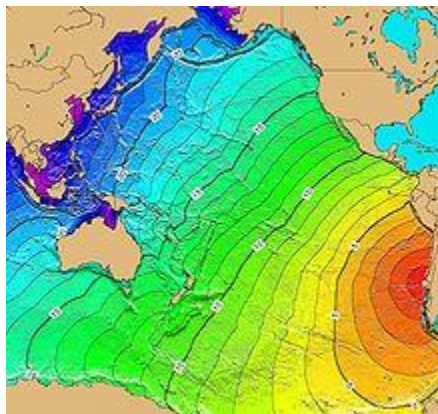


Figura 1. Amplitud de ondas submarinas para el terremoto de Chile en 1960

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/Tsunami_travel_time_Valdivia_1960.jpg)

En aquellas épocas, se habría ganado mucho en salvar vidas e incluso bienes materiales, si se hubieran utilizado materiales adecuados, para la construcción de estructuras sismo-resistentes, de ahí la importancia del desarrollo de la tecnología, que actualmente permite desarrollar programas los cuales cuentan con una amplia gama de aplicaciones, que facilitan la visualización virtual del comportamiento y respuestas de las mismas, y por tanto logrando de esta manera mejorar las estructuras, traduciéndose esto, en salvar vidas humanas.

Es importante destacar que actualmente en Chile, se encuentran preparados para sismos de gran magnitud, lo que se ha evidenciado incluso, en los últimos sismos que han ocurrido en ese País.

En la tabla 1 se pueden apreciar algunos de los sismos más importantes en Chile y su relevancia por su tasa de mortalidad:

Año	Nombre	Magnitud	Muertos
2017	Valparaíso de 2017	6,9	0
2015	Coquimbo de 2015	8,4	15
2010	Cauquenes de 2010	8,8	521
1985	Algarrobo de 1985	8,0	178
1965	La Ligua de 1965	7,4	280
1960	Valdivia de 1960	9,5	2000

Tabla 1. Tasa de mortalidad de terremotos en Chile (obtenido de

https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Chile#Lista_de_terremotos)

Se evidencia, que a medida que los sismos han sido más y más documentados, como esta información se ha convertido incluso en un insumo para el desarrollo de la nueva tecnología, lo que ha incidido directamente en una baja pronunciada en la tasa de mortalidad, y, que gracias al desarrollo de sistemas informáticos, se pueden diseñar estructuras sismo resistentes, que puedan soportar sismos de gran magnitud sin colapso de la estructura, de allí la importancia del desarrollo de estas aplicaciones, en países como Chile, que se han convertido en un referente en el desarrollo de estas técnicas, por su condición de país de gran sismicidad, por lo que han acarreado gran experiencia, mostrándose este aprendizaje en la baja de las tasas de mortalidad por terremotos, y el mayor porcentaje de estructuras que soportaron estos.

En el caso de Ecuador, existen diferencias y semejanzas con Chile, evidenciándose que en el mismo periodo aproximadamente, no se nota una tendencia marcada a la baja en la tasa de mortalidad, lo que evidencia la preparación en el país, y por ende el aprendizaje sobre la base de las experiencias pasadas no ha sido el mismo que en Chile, al contrario, hay un rezago en la utilización de materiales apropiados para estructuras sismo resistentes.

Año	Nombre	Grado	Muertos
2017	Esmeraldas 2016	5,8	3
2016	Manabí, Esmeraldas	7,8	+650

2014	Quito	5,1	4
1987	Napo	6,9	300
1979	Tumaco	7,6	600
1949	Ambato	6,8	5050

Tabla 2. Tasa de mortalidad de terremotos en Ecuador (obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Ecuador)

En la tabla 2 como se comprueba que las magnitudes de los terremotos nunca fueron tan grandes como los terremotos de Chile, pero aun así causaron mucho más muertes, de ahí la importancia en la actualidad, de que se utilicen materiales adecuados en estructuras sismo resistentes, previamente comprobados mediante la utilización de aplicaciones informáticas como la desarrollada en este proyecto, mediante la cual se aprecie virtualmente y de manera visual el comportamiento de las estructuras frente a sollicitaciones sísmicas.



Figura 2. Epicentro terremoto 16 de abril 2016 Ecuador (obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Ecuador_de_2016)

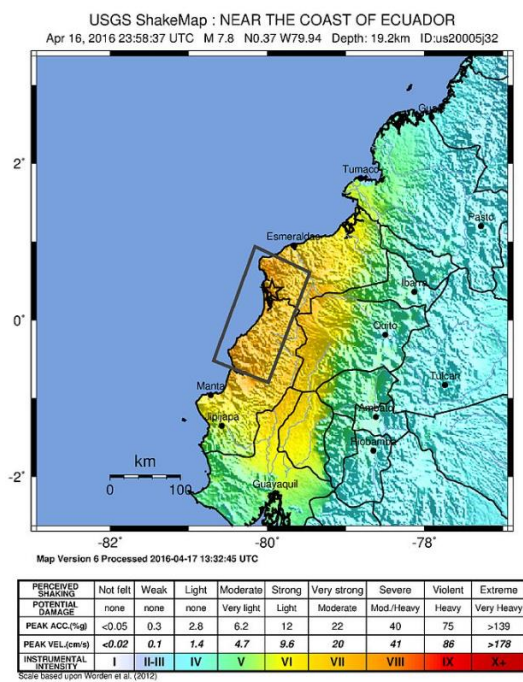


Figura 3. Mapa de intensidades terremoto 16 de abril 2016 Ecuador (obtenido de <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#shakemap>)

En el Ecuador, en el último sismo de 16 de abril de 2016, se mostró una magnitud muy por debajo de los sismos en Chile, pero dejaron mayor devastación, esto pudo haber sucedido en parte también por las aceleraciones experimentadas en este sismo, sin embargo, se puede dudar muy seriamente de los materiales utilizados en la construcción de las estructuras, lo que llevó al colapso de las mismas, y que la tasa de mortalidad sea tan alta, por tanto, la importancia, ahora más que nunca de utilizar nuevas tecnologías que ayuden a diseñar y construir estructuras verdaderamente sismo resistentes.

La importancia del programa en este aspecto hace referencia a los materiales ya que el análisis que corre el programa se vale del módulo de elasticidad del material utilizado para la estructura. Es por esta razón que en un pre-dimensionamiento, se podría verificar si el material utilizado es verdaderamente adecuado para que la estructura no tenga desplazamientos exagerados sobre los permitidos por norma analizando las derivas por piso de la estructura impuesta.

1.1.5 Métodos de cálculo

En el programa se ha implantado un análisis mediante dos tipos de métodos:

- Método de Superposición Modal
- Método de Análisis Modal Espectral

Ambos métodos resuelven el problema impuesto para el cálculo de desplazamientos y fuerzas máximas requeridas por el programa y obtienen resultados con márgenes de error mínimo el uno respecto al otro.

Ambos métodos parten desde un mismo sistema dinámico planteado desde el cual se generaliza casos para 'n' grados de libertad. El sistema dinámico a resolverse para la ecuación de movimiento se aprecia en la siguiente figura.

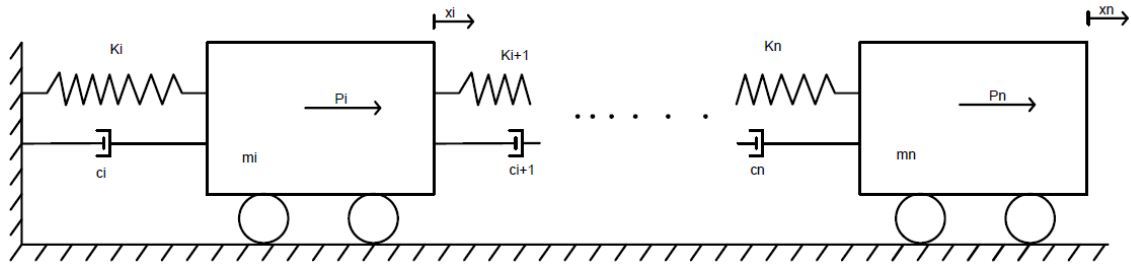


Figura 4. Sistema dinámico en consideración para la ecuación de movimiento

La ecuación de movimiento en forma matricial realizadas a partir del diagrama de cuerpo libre del par de osciladores mostrados en la figura 4 se muestra a continuación.

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = \{P(t)\} \quad (2)$$

Donde,

$[m]$, es la matriz de masas

$[c]$, en la matriz de amortiguamiento

$[k]$, es la matriz de rigidez

Los vectores $\{\ddot{x}\}$, $\{\dot{x}\}$, $\{x\}$ son los vectores de aceleraciones, velocidades y desplazamientos respectivamente.

$\{P(t)\}$, es el vector de fuerzas en el tiempo ($P=-\text{masa} \cdot \text{aceleración sismica}$)

1.1.5.1 Método de superposición modal.

El método de superposición modal es un método exacto empleado para el cálculo de desplazamientos y fuerzas en el tiempo de sistemas dinámicos.

La función principal de este método es desacoplar sistemas de ecuaciones a partir de las ecuaciones de movimiento de un sistema dinámico con 'n' grados de libertad de tal manera que se logre formar sistemas de ecuaciones independientes, mediante cambios de variable, las cuales sean sencillas de resolver mediante cualquier método empleado.

Para resolver las ecuaciones desacopladas se ha optado por utilizar el método Beta de Newmark, el cual es un método numérico que aproxima las respuestas de desplazamientos, velocidades y aceleraciones en el tiempo de un sistema dinámico frente a una fuerza aplicada.

En el caso de un sismo la fuerza aplicada es la aceleración del sismo que multiplica a cada masa de cada grado de libertad de la estructura.

Las ecuaciones se desacoplan en función de sus modos de vibración mediante un cambio de variable, el resultado de cada ecuación independiente para cada modo de vibración de la estructura se presenta a continuación.

$$M_i^* \ddot{x}_i + C_i^* \dot{x}_i + K_i^* x_i = P(t)_i^* \quad (3)$$

Donde,

$$M_i^* = \{\phi_i\}^T [m] \{\phi_i\}$$

$$C_i^* = \{\phi_i\}^T [c] \{\phi_i\}$$

$$K_i^* = \{\phi_i\}^T [k] \{\phi_i\}$$

$$P(t)_i^* = \{\phi_i\}^T \{P(t)\}$$

Por cuestión de simplicidad en el programa se ha realizado los cálculos para la obtención de desplazamientos, velocidades y aceleraciones mediante la siguiente ecuación modificada a partir de la ecuación de movimiento dividida para M_i^* .

$$\ddot{x}_i + 2\zeta_i \omega_i \dot{x}_i + \omega_i^2 x_i = \frac{P(t)_i^*}{M_i^*} \quad (4)$$

Donde,

ζ_i , es el amortiguamiento de la estructura impuesta

ω_i , es la frecuencia circular natural de la estructura a partir de la rigidez y masa $\sqrt{\frac{k}{m}}$

$\frac{P(t)_i^*}{M_i^*}$, es la fuerza efectiva aplicada a la estructura

La ecuación anterior es resuelta en el tiempo mediante el método Beta de Newmark explicado en la sección 1.1.5.3.

Para la obtención de desplazamientos mediante este método, se multiplica las variables obtenidas por su respectivo vector modal. En términos generales los desplazamientos se calculan con se muestra en la ecuación 5.

$$\{\text{desplazamientos}\} = [\phi]_i \{x\}_i \quad (5)$$

Una vez obtenidos los desplazamientos, las fuerzas equivalentes pueden ser obtenidas multiplicando el vector de desplazamientos por piso por la matriz de rigidez calculada como se muestra en la ecuación 6.

$$\{Fuerzas\} = [K]\{desplazamientos\} \quad (6)$$

1.1.5.2 Método de análisis modal espectral.

El método de análisis modal espectral es un método el cual no es muy exacto ya que analiza únicamente las respuestas máximas en el tiempo. Este método da respuestas muy cercanas a las del método de superposición modal para desplazamientos y fuerzas máximas.

Lo que realiza el método es obtener las respuestas máximas a partir del espectro calculado del registro impuesto para los periodos de vibración de la estructura, dividirlos para la frecuencia circular natural al cuadrado y multiplicarlos a estos por el factor de participación modal, el cual indica que tanto afecta cada modo a la respuesta de la estructura.

El método de análisis modal espectral se lo realiza en base a la participación modal en base a la ecuación 4 de movimiento modificada en la sección 1.1.5.1.

La ecuación a ser resuelta es la siguiente despejando el termino de desplazamientos.

$$x_i(t) = \frac{\mathcal{L}_i}{M_i^*} D_i(t) \quad (7)$$

Donde,

$$\mathcal{L}_i = [\phi]^T [m] \{r\}$$

$\{r\}$, es el vector que relaciona los movimientos de la tierra con los grados de libertad de la estructura y para el caso de este programa siempre es un vector de unos.

$$D_i(t) = -\frac{1}{\omega \zeta_i} \int_0^t \ddot{S}_g(\tau) e^{-\zeta_i \omega_i (t-\tau)} \sin \omega \zeta_i (t-\tau) dt \quad (8)$$

Ya que se busca únicamente los valores máximos absolutos de la respuesta de la estructura en el tiempo se asume lo siguiente.

$$|D_i(t)|_{m\acute{a}x.} = S_d \{ \zeta_i; \omega_i; \ddot{S}_g(t) \} \quad (9)$$

Donde,

S_d , es el espectro de desplazamientos en base a un registro dependiente de aceleraciones sísmicas.

La ecuación a ser resuelta entonces para calcular los desplazamientos máximos de la estructura es la siguiente.

$$x_{i \text{ Máx.}} = \frac{\mathcal{L}_i}{M_i^*} S_d \quad (10)$$

Las aproximaciones de pseudo espectros es aceptada para este tipo de cálculos donde se podría calcular los pseudo espectros de desplazamientos a partir de pseudo espectros de aceleración o velocidad de la siguiente manera.

$$S_d = \frac{S_v}{\omega} = \frac{S_a}{\omega^2} \quad (11)$$

Donde,

S_v y S_a son los espectros de velocidades y aceleraciones respectivamente.

La obtención de fuerzas normalmente se obtiene multiplicando la matriz de rigidez por el desplazamiento obtenido. Para la obtención de fuerzas máximas para este método se utiliza la siguiente ecuación.

$$\{F_i\}_{m\acute{a}x.} = [m]\{\phi_i\}x_iS_a \quad (12)$$

En la naturaleza todos los modos afectan al mismo tiempo a una estructura, es por esta razón que se debe modelar para que la respuesta sea obtenida acorde a la respuesta de la estructura frente a todos sus modos de vibración. Los desplazamientos y fuerzas máximas obtenidas son respecto al i -ésimo modo de vibración de la estructura. Para obtener la respuesta máxima absoluta en desplazamientos y fuerzas respecto a todos los modos de vibración al mismo tiempo existen varios métodos; sin embargo, para este trabajo se ha adoptado el método SRSS (Square Root of Sum of the Squares) el cual obtiene la respuesta máxima absoluta al obtener el módulo de todas las respuestas de desplazamientos y fuerzas equivalentes máximas para cada piso dependientes de cada modo. En la siguiente ecuación se muestra el método SRSS.

$$R_{Totalm\acute{a}x} = \sqrt{\sum R_{i\acute{m}a}^2} \quad (13)$$

Donde,

$R_{Total_{m\acute{a}x}}$, es la respuesta máxima total ya sea fuerzas o desplazamientos

$\sum R_{i_{m\acute{a}x}}^2$, es la respuesta máxima modal ya sea fuerzas o desplazamientos.

Al obtener los vectores modales se procede calcular de igual forma la masa modal efectiva la cual se interpreta como la fracci3n de la masa total que se activa en el modo evaluado debido a la excitaci3n dada en la base de la estructura. La masa modal efectiva se la calcula mediante la siguiente ecuaci3n.

$$m_{ef}^{(i)} = \frac{[\sum_{j=1}^n (\phi_j^i m_j)]^2}{\sum_{j=1}^n m_j (\phi_j^i)^2} \quad (14)$$

Donde,

ϕ , es el vector modal calculado

m , es la masa de la estructura

1.1.5.3 Método beta de Newmark.

El método beta de Newmark es un método de integraci3n numérica el cual es utilizado para la soluci3n de ecuaciones diferenciales. El prop3sito de la utilizaci3n de este método es el encontrar las respuestas de aceleraciones, velocidades y desplazamientos en el tiempo de una estructura.

Este método únicamente resuelve ecuaciones lineales e independientes de manera numérica, mas no resuelve sistemas matriciales.

Este método en el programa realizado es utilizado para el análisis mediante

superposición modal únicamente para logra obtener las respuestas de desplazamientos de la estructura mediante las ecuaciones desacopladas mencionadas en la sección 1.1.5.1.

Es correcto mencionar que para estructuras de un solo grado de libertad las cuales se desee analizar mediante el método de superposición modal, el programa calcula de forma directa mediante el método de Newmark ya que para un grado de libertad solo se tendrá una ecuación la cual se deba resolver.

Las ecuaciones utilizadas para la obtención de respuestas en el tiempo de la estructura de 'n' grados de libertad son las siguientes:

$$\dot{x}_{i+1} = \dot{x}_i + \frac{1}{2}\ddot{x}_i\Delta t + \frac{1}{2}\ddot{x}_{i+1}\Delta t \quad (15)$$

$$x_{i+1} = x_i + \dot{x}_i\Delta t + \left(\frac{1}{2} - \beta\right)\ddot{x}_i\Delta t^2 + \beta\ddot{x}_{i+1}\Delta t^2 \quad (16)$$

$$\ddot{x}_{i+1} = P_{efectiva_{i+1}} - 2\zeta\omega\dot{x}_{i+1} - \omega^2x_{i+1} \quad (17)$$

Donde,

β , es el tipo de aproximación del método y puede ser:

$$\beta = \begin{cases} 1/8 & \rightarrow \text{escalonada por abajo} \\ 1/6 & \rightarrow \text{aproximación lineal} \\ 1/4 & \rightarrow \text{escalonada por arriba} \end{cases}$$

El β utilizado para el cálculo es de 1/6 ya que da la mejor aproximación a un registro de aceleraciones el cual es de interés para este proyecto.

El método Beta de Newmark se vuelve un proceso iterativo el cual encuentra las soluciones de manera numérica para los desplazamientos, velocidades y aceleraciones del problema impuesto para distintos instantes de tiempo.

Capítulo 2

2.1 Programación del análisis dinámico de estructuras en Matlab

2.1.1 ¿Por qué Matlab?

Matlab es un entorno de cálculo técnico de altas prestaciones para cálculo numérico y visualización. El entorno de Matlab permite manejar sistemas de matrices de manera sencilla. Matlab permite resolver problemas matriciales y numéricos de manera más eficiente y en una fracción de tiempo de lo que demoraría en procesar en otros lenguajes como C, Fortran o Basic. En la industria actualmente se utiliza Matlab para la investigación y resolución de problemas matemático e ingenieriles con gran énfasis en procesamiento y control. Una de las grandes ventajas de Matlab es la posibilidad de crecimiento que tiene ya que el usuario puede crear sus propias aplicaciones para futuro uso de las mismas (Sánchez de la Rosa, 2001).

La razón por la cual se utilizó Matlab para el desarrollo del programa realizado, se basa en la posibilidad de la creación de funciones propias y manejo de matrices para los cálculos requeridos para los métodos descritos de superposición modal y análisis modal espectral. De igual manera Matlab cuenta con la posibilidad de crear interfaz gráfica mediante el uso de GUIDE para poder manejar de una manera amigable las funciones creadas para el programa.

GUIDE es un entorno gráfico manejado por MATLAB el cual permite el ingreso de datos requeridos de forma dinámica para las distintas funciones creadas. La interfaz gráfica para el proyecto es de gran ayuda para poder crear un entorno amigable para el

usuario del programa, el uso de la interfaz gráfica permite que el usuario pueda utilizar todas las posibles opciones de cálculo dentro de una misma aplicación sin tener que referirse a otras funciones independientemente como se lo haría de una manera normal en el entorno simplemente de MATLAB.

Otra ventaja de MATLAB es que este puede crear aplicaciones mediante el comando DEPLOYTOOL, esto permite que las funciones o en este caso el programa de interfaz gráfica creado se vuelvan aplicaciones ejecutables las cuales le den al usuario de la aplicación la opción de instalar la aplicación en su computador sin la necesidad de que este tenga instalado MATLAB en su computador, ya que el comando DEPLOYTOOL se encarga de crear e instalar todas las librerías necesitadas por el programa de tal manera que no se necesite tener instalado el entorno de MATLAB en el computador para que este pueda correr.

El programa realizado es una aplicación disponible para Windows el cual despliega una interfaz gráfica creada, la cual contiene todas las funciones creadas para el cálculo correcto de una respuesta estructural en desplazamientos y fuerzas equivalentes para una estructura impuesta por el usuario.

2.1.2 Estructuración del programa.

El programa se encuentra estructurado mediante distintas funciones creadas para el cálculo de desplazamientos y fuerzas equivalente de una estructura sometido a una sollicitación sísmica en la plataforma de MATLAB mediante una interfaz gráfica.

Se han creado varias funciones debidas a los distintos posibles casos a analizarse

entre propiedades y geometría del material versus las distintas funciones sísmicas que el usuario desee analizar y respecto al método por el cual se quiera analizar el caso expuesto.

2.1.2.1 Diagrama de flujo general del programa.

A continuación, se detalla el diagrama de flujo de la estructura principal del programa en la figura 5.

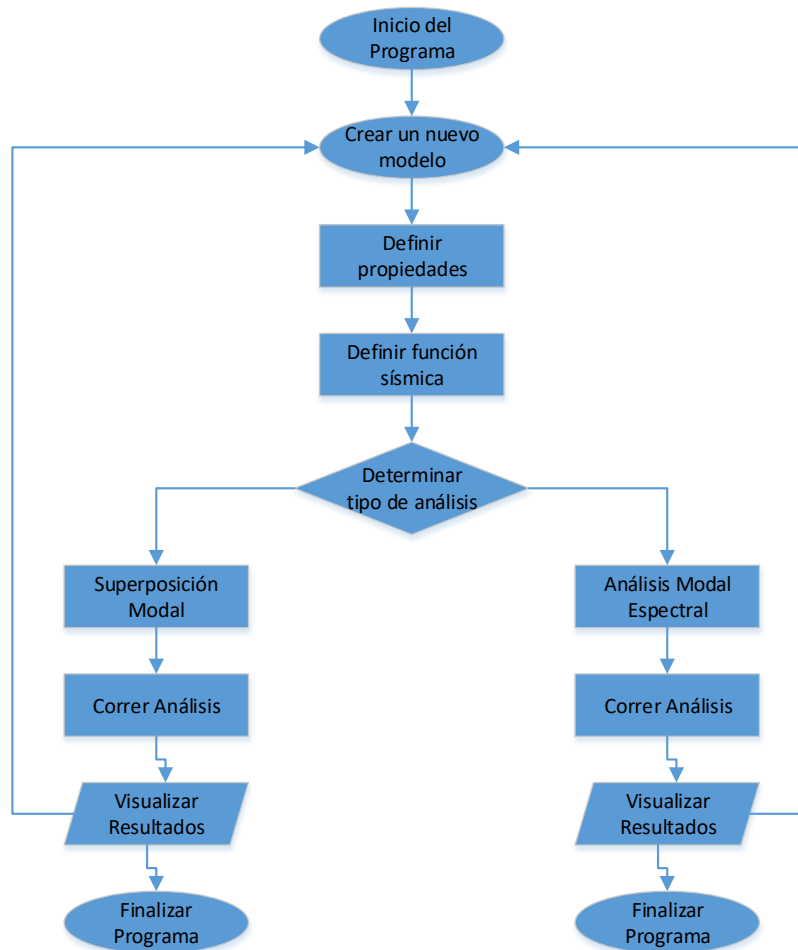


Figura 5. Diagrama de flujo general

2.1.2.2 Diagrama de flujo de propiedades.

A continuación, se detalla el diagrama de flujo para la definición de propiedades de la estructura a imponerse en el programa en la figura 6.

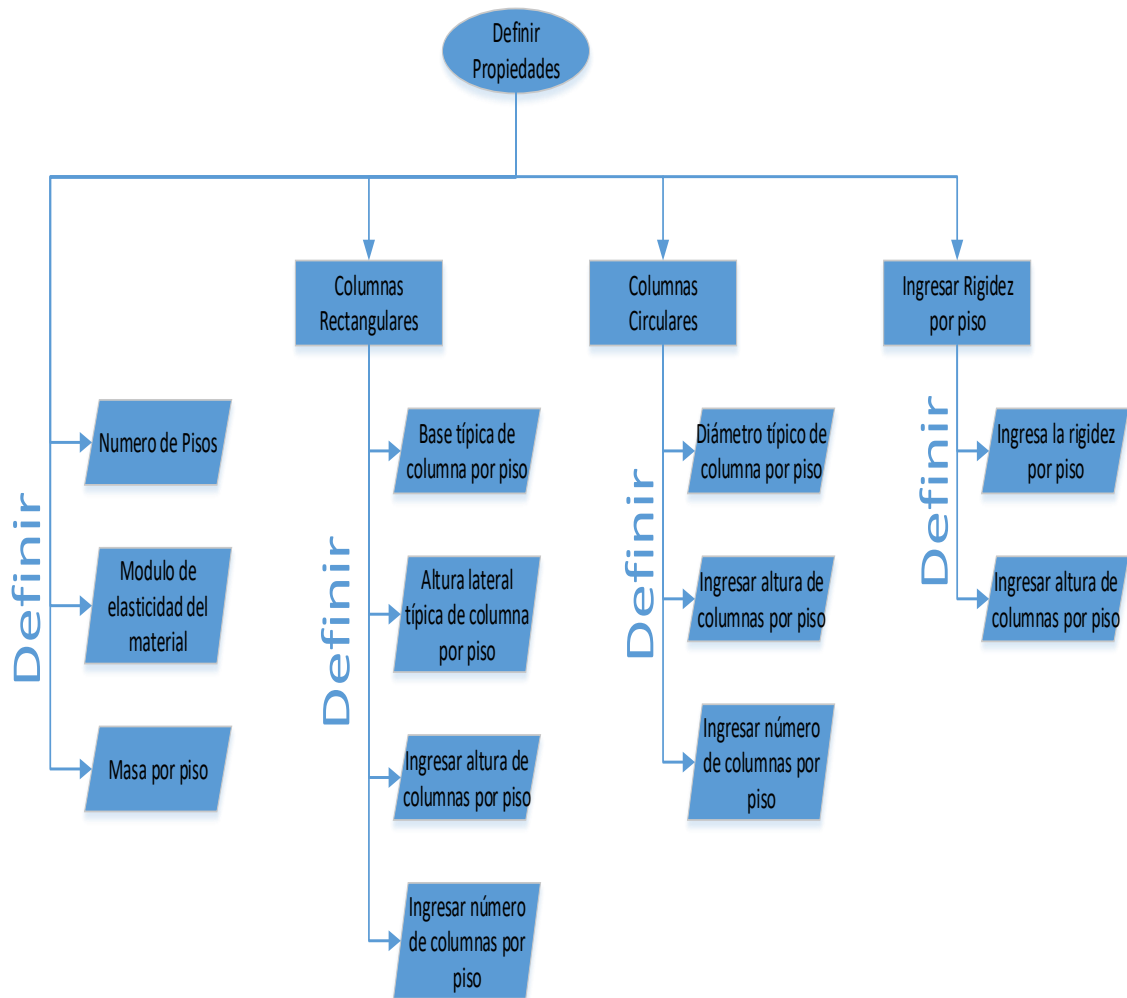


Figura 6. Diagrama de flujo para la definición de propiedades

2.1.2.3 Diagrama de flujo de función sísmica.

A continuación, se detalla el diagrama de flujo para la definición de la función sísmica para la estructura impuesta en el programa en la figura 7.

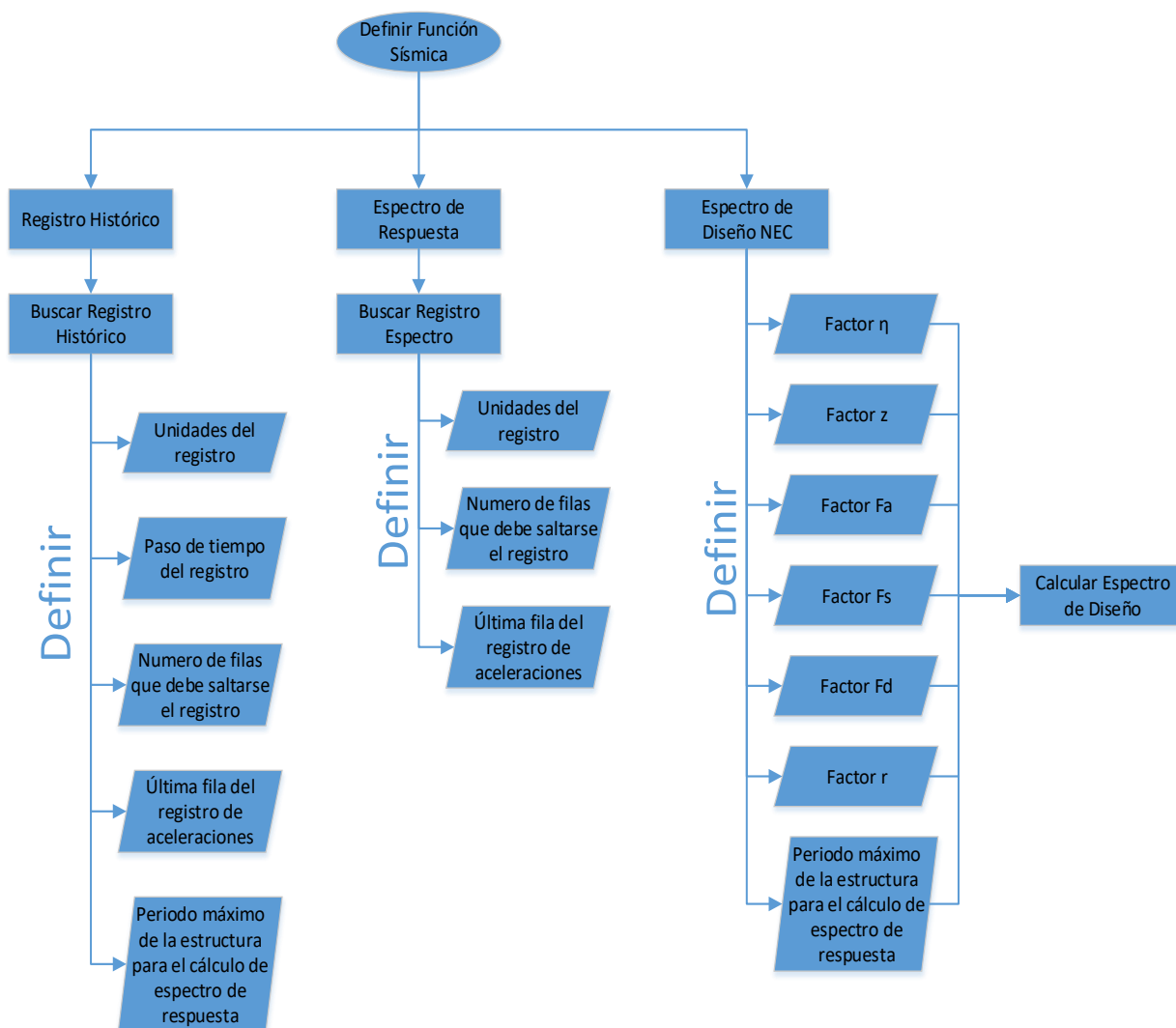


Figura 7. Diagrama de Flujo para definir Función Sísmica

2.1.2.4 Diagrama de flujo de los resultados.

A continuación, se detalla el diagrama de flujo para la definición de todos los posibles resultados con su respectiva aclaración, que se podrían obtener a partir de los

distintos casos de análisis que se realice. El diagrama se lo puede apreciar en la figura 8.

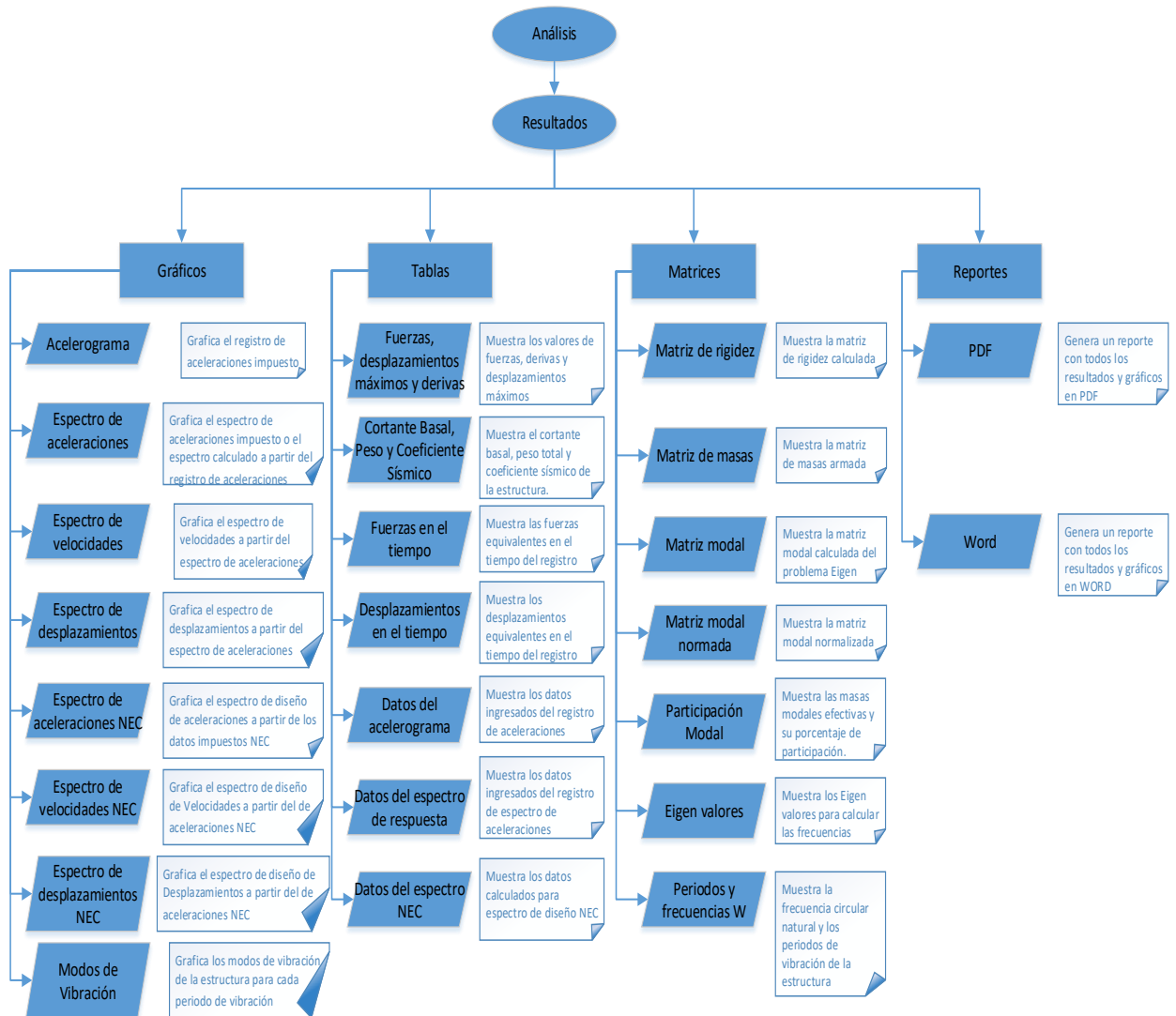


Figura 8. Diagrama de Flujo de resultados a partir del análisis

Los reportes serán generados dependiendo de los resultados que se pueda obtener a partir del análisis del caso impuesto en el programa.

Todas las posibles combinaciones de casos se encuentran anexadas en el apéndice A al final del documento para una mayor referencia del usuario.

2.1.3 Ejemplos de aplicación.

El programa ha sido desarrollado para el análisis de estructuras existentes o incluso en etapas de pre-dimensionamiento para poder analizar las demandas que la estructura podría tener frente a un sismo histórico o un sismo de diseño.

La aplicación del programa es general para cualquier estructura la cual pueda ser modelada a través de modelos de eje de cortante con las masas concentradas en las losas.

El programa consta de tres partes para el análisis de una estructura, la primera son las propiedades de la estructura como geometría general de la estructura y material utilizado, la segunda parte consta de la función sísmica que se desee imponer a estructura y la tercera parte es el tipo de análisis por el cual se desea calcular las demandas de la estructura frente a la función sísmica.

2.1.3.1 Ejemplo 1.

A continuación, se realizará el análisis de un edificio de 3 pisos el cual tenga empotramientos en todas sus columnas y masas concentradas en cada piso. La estructura será hecha de hormigón y tendrá las siguientes propiedades:

- Módulo de elasticidad = $2E6 \text{ Ton/m}^2$
- Masa en el primer y segundo piso = $3 \text{ Ton-s}^2/\text{m}$
- Masa en el último piso = $4 \text{ Ton-s}^2/\text{m}$
- Dimensiones de columnas rectangulares para todos los pisos = $30\text{cm} \times 30\text{cm}$

- Altura del primer piso = 4m
- Altura del segundo y tercer piso = 3m
- Número de columnas en el primer y segundo piso = 6
- Número de columnas en el último piso = 4
- Amortiguamiento de la estructura = 5%
- Registro Histórico impuesto = Terremoto de México 1995

Con los datos mencionados se puede calcular la respuesta de esta estructura mediante el programa de la siguiente manera.

Primero se crea un nuevo modelo presionando Archivo→Nuevo Modelo

La ventana para crear un nuevo modelo se muestra en la figura 9 a continuación.



Figura 9. Creación de nuevo modelo

Seguido a la creación de un nuevo modelo se puede optar por llenar los recuadros que hayan aparecido o definir las propiedades.

Como segundo paso se debe definir las propiedades que en este caso son columnas rectangulares presionando Definir → Propiedades → Columnas rectangulares

Se debe llenar todos los campos requerido con los datos que han sido dados de la estructura como se muestra en la figura 10 a continuación.

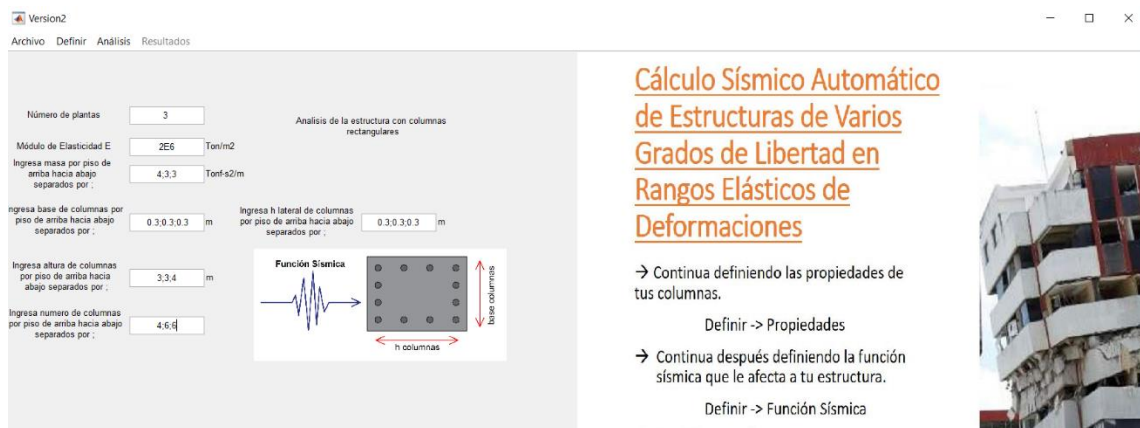


Figura 10. Cuadros llenados para estructuras con columnas rectangulares

Seguido a haber llenado todos los campos impuestos debido a la elección de ‘Columnas Rectangulares’, como tercer paso se debe definir la función sísmica a ser impuesta, ya que el ejercicio pide ingresar el registro de aceleraciones del terremoto de México en 1995, esto se lo realiza presionando Definir→Función Sísmica→Registro Histórico.

Seguido a esto se debe ingresar el registro histórico presionando el botón de Buscar registro de aceleraciones para poder ubicar el registro en la computadora. Una vez impuesto el registro este se mostrará en el recuadro superior derecho de la pantalla.

Seguido a esto se debe llenar todos los campos requeridos con la información del registro y los datos dados de la estructura llegando a obtener los campos como se aprecia en la figura 11.

Es muy importante tener en cuenta las unidades del registro ingresado ya que esto es de suma importancia para que los resultados den en las unidades deseadas.

Un recuadro de periodo máximo de estructura para espectro aparece en la pantalla junto a los demás cuadros, este cuadro en específico sirve para calcular el espectro de respuesta del registro de aceleraciones ingresado, es común darle un valor entre 4 y 5 segundos ya que las respuestas máximas no suelen ser mayores a estos valores.

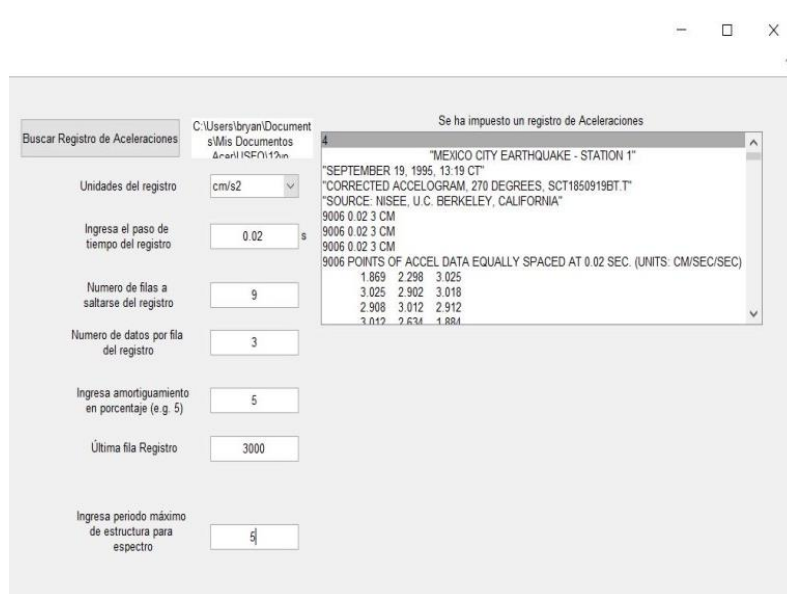


Figura 11. Cuadros llenados para funciones sísmicas de registros históricos

Se puede apreciar claramente que se ha elegido un registro de aceleraciones del terremoto de México de 1995, ya que el registro se ha desplegado en el recuadro antes mencionado, donde se puede apreciar incluso las filas a saltarse del registro y las unidades del mismo junto con el paso de tiempo del registro. Es importante imponer la última fila del registro ya que el registro elegido podría tener más de un campo de datos.

Como cuarto paso se debe decidir el análisis que se desea realizar ya sea este superposición modal o análisis modal espectral. Para un registro de aceleraciones es

recomendable realizar un análisis mediante el método de superposición modal ya que es un método más exacto el cual tomará en cuenta todas las demandas de desplazamientos y fuerzas en el tiempo entero del registro.

Para realizar esto se debe elegir **Análisis** → **Superposición modal**. Esta opción desplegará un botón para correr el análisis y a su vez habilitará el recuadro utilizado para visualizar resultados.

Una vez elegido el análisis se oprime el botón que dice correr superposición modal para que el programa se ejecute. Se sabrá que el programa está corriendo cuando aparezca una barra de espera en la pantalla la cual indica que el programa se está ejecutando, al final de la ejecución del programa aparecerá un recuadro el cual diga que el programa se ha ejecutado con éxito, si esto no sucede se debe revisar los datos ingresados. En la figura 12 se aprecia el programa ya corrido.

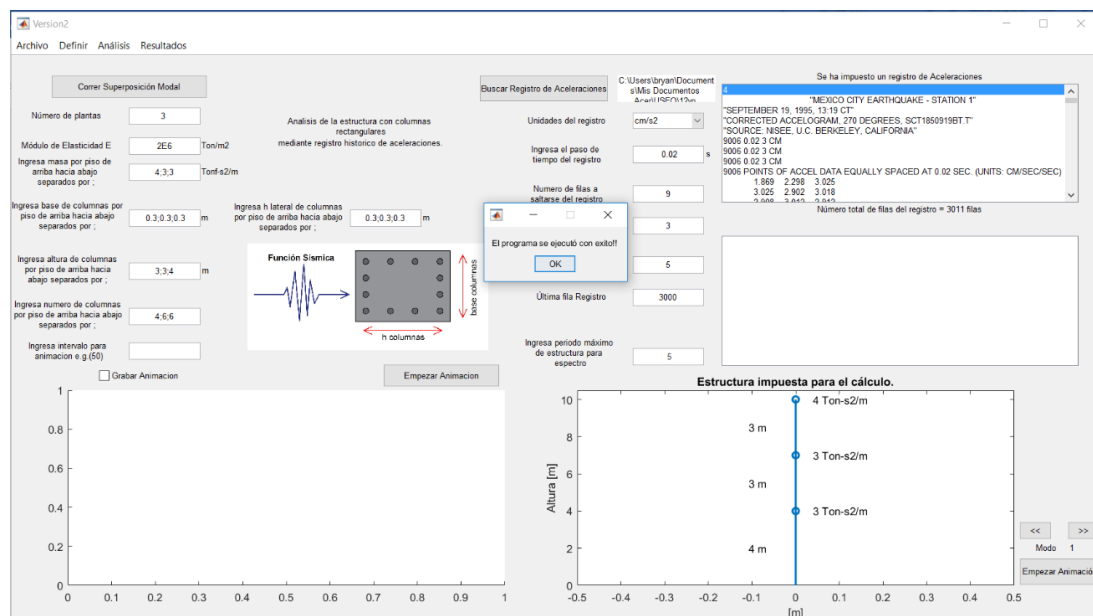


Figura 12. Programa ejecutado con análisis de superposición modal

Se aprecia de la figura 12 que se han abierto dos nuevas ventanas; estas sirven para graficar los resultados del análisis. De igual manera se ha creado un nuevo botón el cual sirve para realizar una animación de la estructura impuesta en el tiempo, se ha creado un recuadro de revisión que sirve para grabar la animación si se desea y por último se abrió un cuadro editable el cual pide el intervalo de datos que quiere el usuario saltarse para que la animación se más rápida.

Cabe mencionar en este punto que todo campo visible en pantalla es de carácter obligatorio llenarlo para que el programa funcione como se espera.

Una vez corrido el análisis se puede visualizar todos los resultados posibles (Consultar el manual de usuario para ver qué resultados puedo obtener del análisis realizado).

En las figuras 13, 14 y 15 se aprecian algunos resultados que se pueden obtener del análisis realizado.

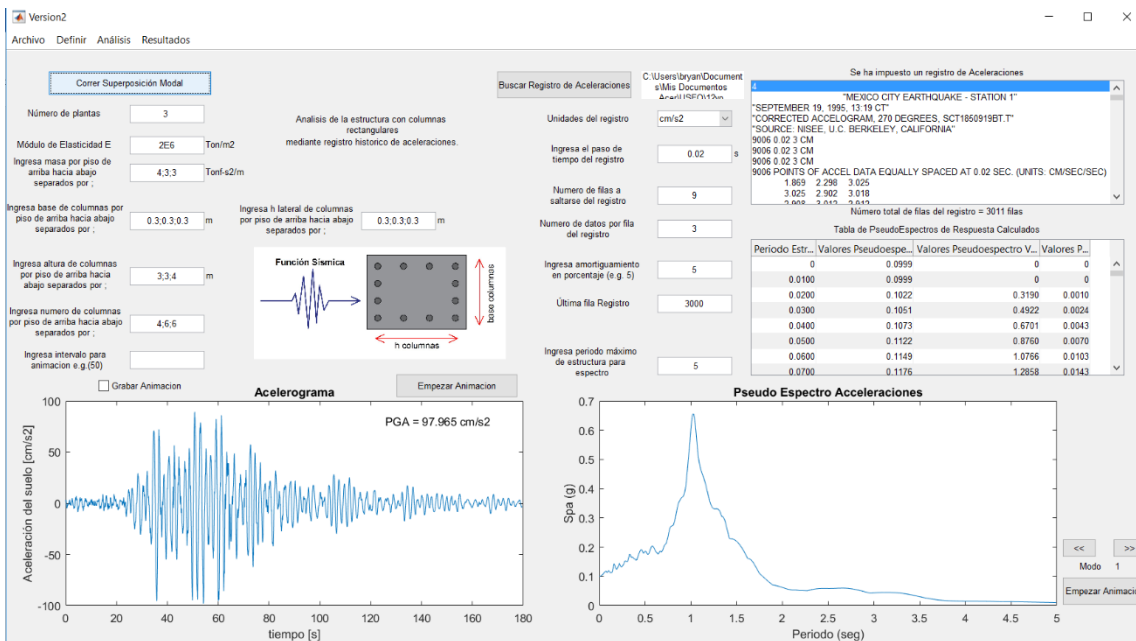


Figura 13. Resultados de acelerograma, espectro de respuesta de aceleraciones y tabla de pseudo espectros calculados

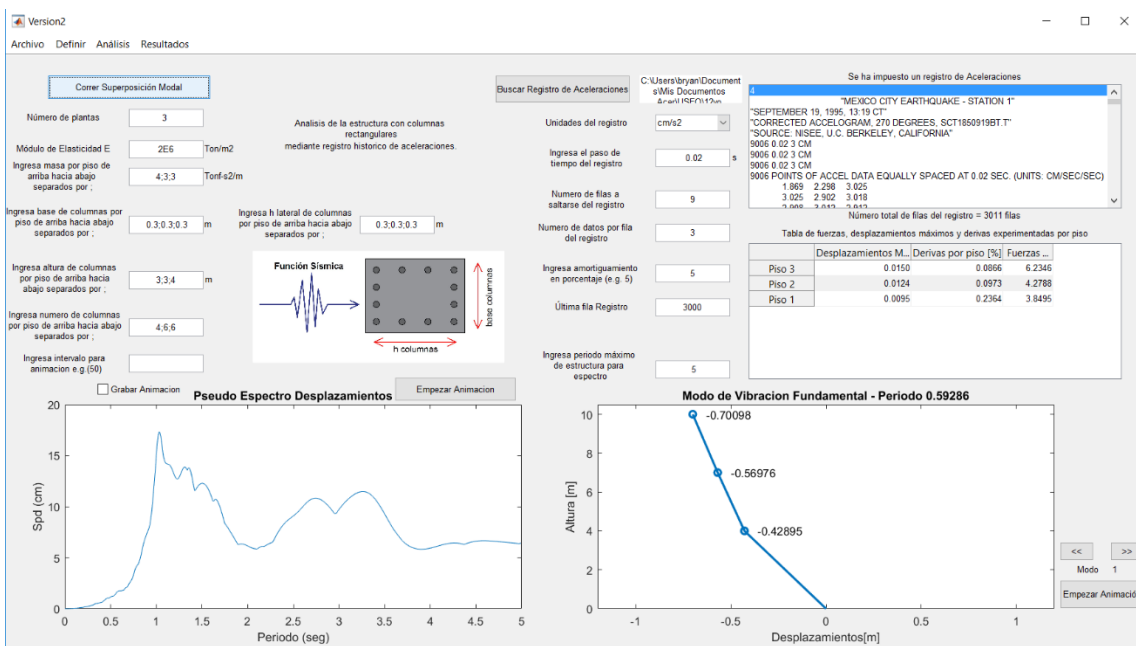


Figure 14. Resultados de espectro de desplazamientos, modo fundamental de vibración de la estructura y tabla de fuerzas, desplazamientos máximos y derivas

Los desplazamientos máximos obtenidos por el programa son los siguientes:

- Piso 3 = 0.0149m
- Piso 2 = 0.01238m
- Piso 1 = 0.009456m

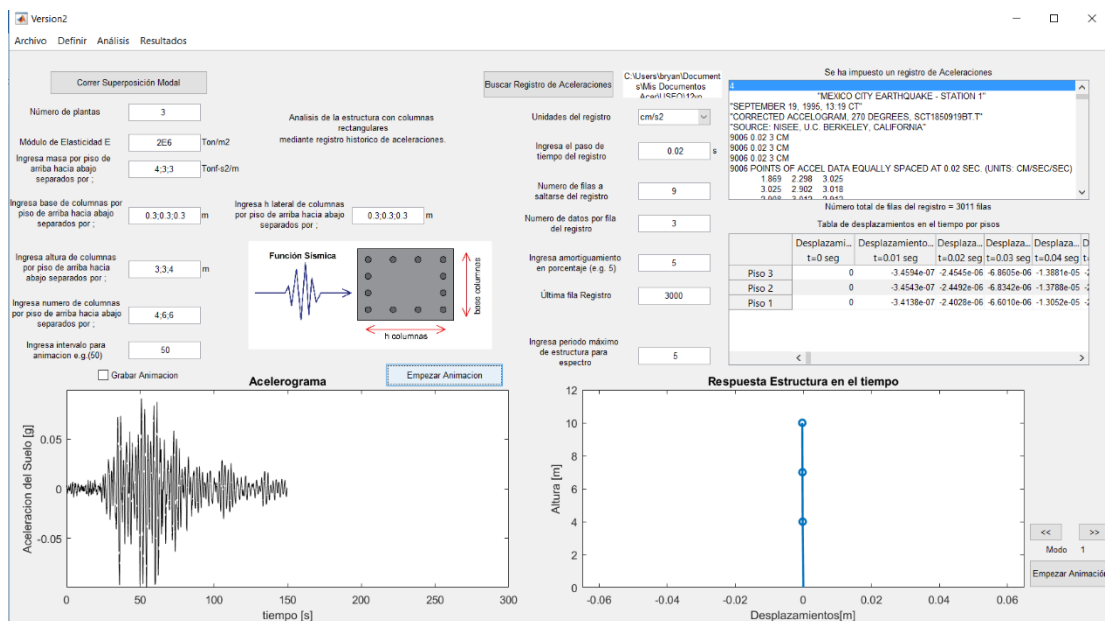


Figura 15. Resultados de animación de la estructura en el tiempo y tabla de desplazamientos en el tiempo

Se han mostrado solo algunos resultados de los cuales se puede obtener mediante el análisis realizado, para más referencia de que resultados se puede obtener a partir de qué tipo de análisis se pide al usuario que se refiera al manual de usuario.

2.1.3.2 Ejemplo 1 realizado en ETABS.

Para iniciar el modelo impuesto del ejemplo 1 en ETABS primero se ingresa la geometría de la estructura a ser analizada como se observa en la figura 16.

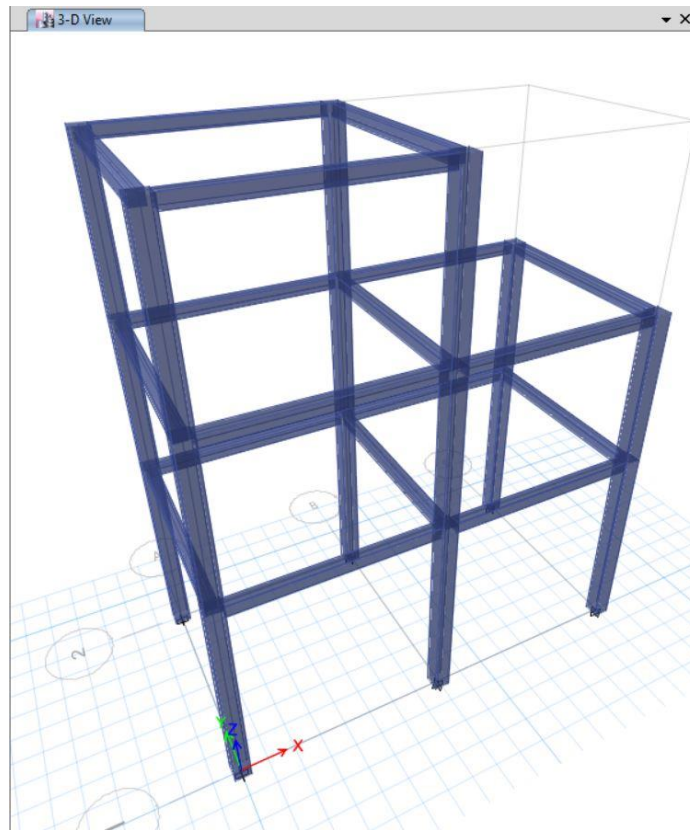


Figura 16. Geometría de la estructura modelada en ETABS

La estructura de la figura 16 tiene exactamente las mismas dimensiones de columnas, altura de columnas y número de columnas como especificado en el ejercicio 1 realizado anteriormente. En la figura 17 se aprecia las dimensiones tomadas para las columnas de todos los pisos.

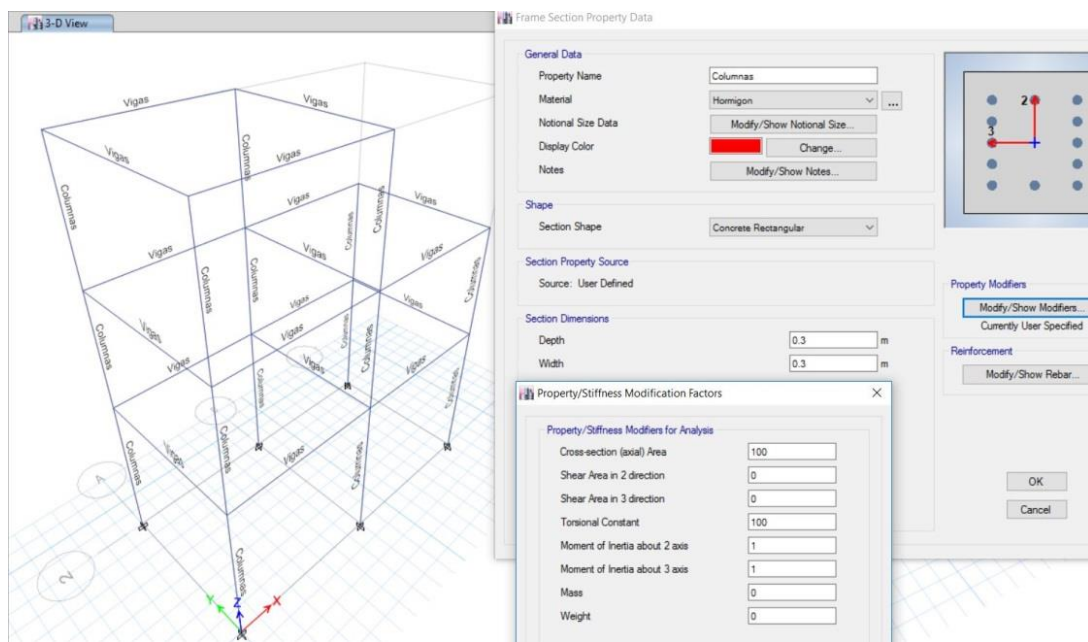


Figura 17. Dimensiones de columnas asignadas en ETABS

Las vigas fueron asignadas de tal forma que su efecto sea casi despreciable para corte y torsión.

A continuación de imponer la geometría de la estructura de la manera correcta, se procede a ingresar la función sísmica tal cual la ingresamos para el programa. El ingreso de la función sísmica se aprecia en la figura 18.

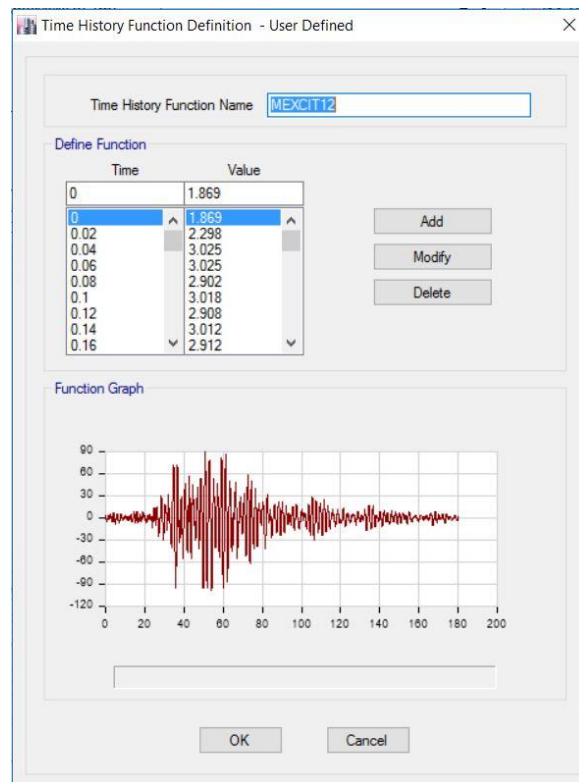


Figura 18. Función sísmica ingresada como registro de aceleraciones al programa de ETABS

La función sísmica empleada es exactamente la misma que en el ejemplo 1 y se lo puede apreciar mediante la gráfica reproducida, ya que esta es la misma que se logra encontrar en el ejemplo 1. La dirección del sismo es en sentido X para lograr el análisis deseado. Para lograr esto se impone el sismo para que afecte a la estructura en esta dirección como se observa la figura 19.

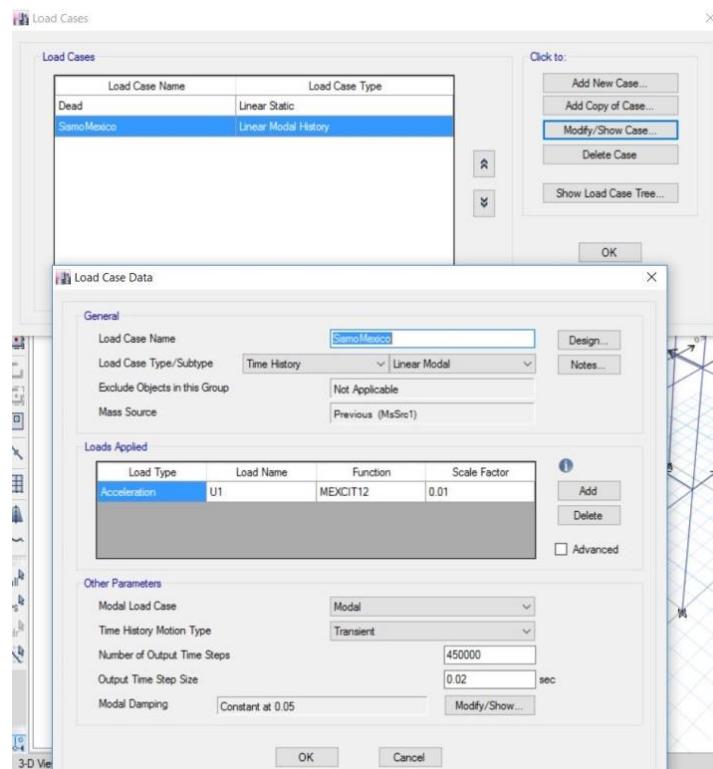


Figura 19. Ingreso de sentido de afectación del sismo y corrección debido a unidades ETABS

En la figura 19 se observa cómo se realiza la corrección debido a las unidades del registro para que este se obtenga en las unidades deseada de metros, el sentido en que se aplica el sismo y el número de datos que se calculan para que exista convergencia en el cálculo.

Ingresada la función y los casos de carga debido al sismo se procede a asignar las masas por piso descritas en el ejemplo 1 como se muestra en la figura 20.

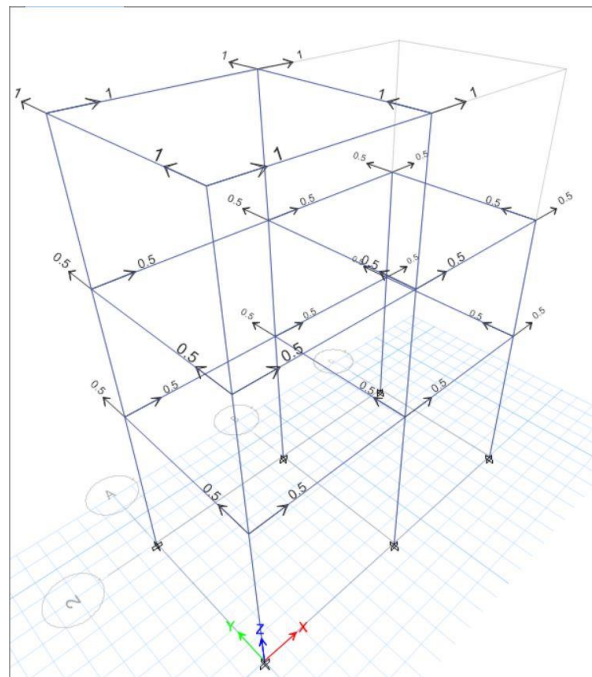


Figura 20. Modelamiento de masas impuestas por piso en ETABS

Para crear el ejercicio descrito en el ejemplo 1 se optó por distribuir las masas en los nudos de los pisos para que estas sean equivalentes a las masas descritas en el ejemplo 1. De esta manera se logra modelar de manera correcta el ejercicio ejemplificado anteriormente.

Una vez que se ha asignado de manera correcta la función sísmica, la geometría de la estructura y las masas por cada piso, se procede a activar los grados de libertad para el análisis, en el caso de este ejemplo se activa únicamente el análisis en el sentido X ya que en esta dirección actúa el sismo.

Una vez corrido el programa en ETABS se obtiene los siguientes resultados los cuales son casi iguales a los obtenidos gracias al programa creado para este proyecto.

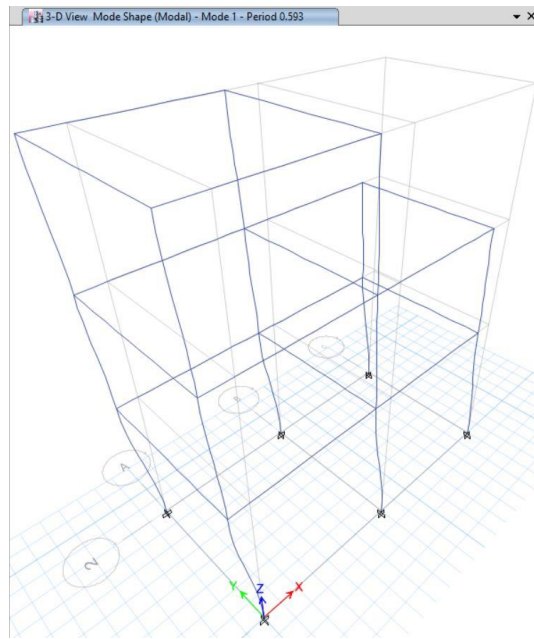


Figura 21. Modo fundamental de vibración de la estructura ETABS

Se aprecia de la figura 21 que el periodo para el primer modo fundamental de vibración es de 0.593 segundos lo cual es un valor extremadamente similar al obtenido en el ejemplo 1 debido al programa.

De igual manera de la figura 22 se puede apreciar los desplazamientos máximos de la estructura, los cuales son muy similares a los calculados anteriormente mediante el programa desarrollado.

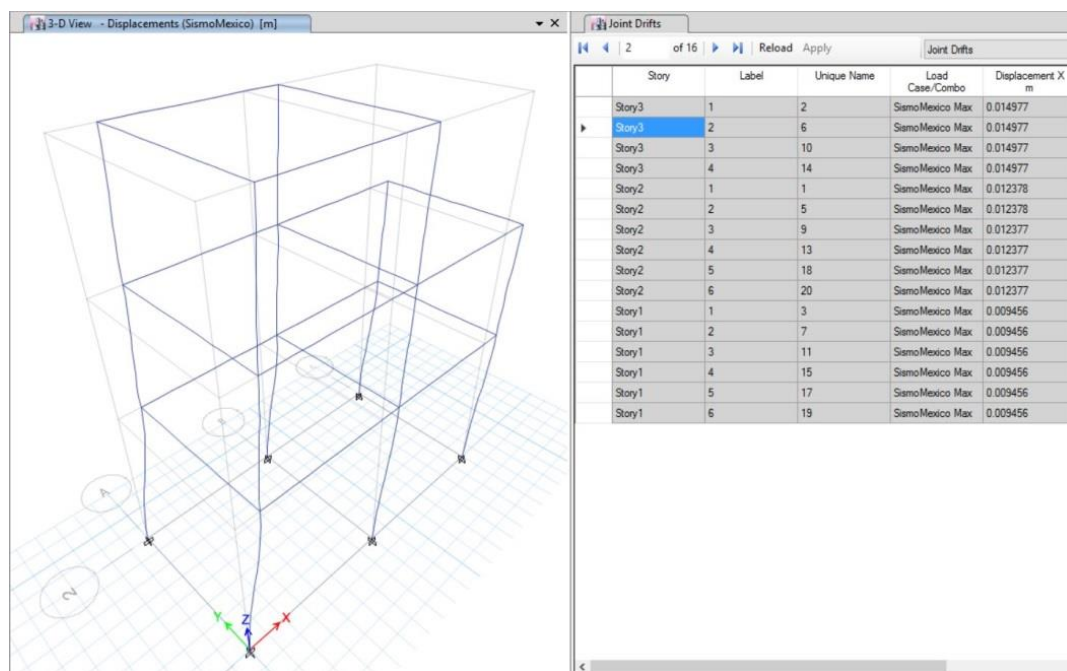


Figura 22. Desplazamientos máximos de la estructura ETABS

Los valores obtenidos de desplazamientos son los siguientes:

- Piso 3 = 0.0149m
- Piso 2 = 0.01238m
- Piso 1 = 0.009456m

Los cuales son los mismos que en el ejemplo 1.

2.1.3.3 Ejemplo 2.

A continuación, se realizará el análisis de un edificio de 4 pisos el cual tenga empotramientos en todas sus columnas y masas concentradas en cada piso. La estructura será hecha de hormigón, será ingresado un espectro de aceleraciones y tendrá las

siguientes propiedades:

- Módulo de elasticidad = $2E6 \text{ Ton/m}^2$
- Masa en el primer y segundo piso = $8 \text{ Ton-s}^2/\text{m}$
- Masa en el tercer piso = $6 \text{ Ton-s}^2/\text{m}$
- Masa en el último piso = $4 \text{ Ton-s}^2/\text{m}$
- Dimensiones de columnas circulares para todos los pisos = 50cm de diámetro
- Altura del primer piso = 2.80m
- Altura resto de pisos = 2.5m
- Número de columnas en el primer y segundo piso = 16
- Número de columnas en el tercer piso = 12
- Número de columnas en el último piso = 8
- Amortiguamiento de la estructura = 5%
- Espectro de aceleraciones impuesto = Espectro de Terremoto de México 1995 en unidades de g.

Con los datos mencionados se puede calcular la respuesta de esta estructura mediante el programa de la siguiente manera.

Primero se crea un nuevo modelo como mencionado en la figura 9 del ejemplo 1

presionando Archivo→Nuevo Modelo. Seguido a la creación de un nuevo modelo se puede optar por llenar los recuadros que hayan aparecido o definir las propiedades.

Como segundo paso se debe definir las propiedades que en este caso son columnas circulares presionando Definir→Propiedades→Columnas circulares

Se debe llenar todos los campos requerido con los datos que han sido dados de la estructura como se muestra en la figura 23.

Version2

Archivo Definir Análisis Resultados

Correr Análisis Modal Espectral

Número de plantas

Módulo de Elasticidad E Ton/m²

Ingresar masa por piso de arriba hacia abajo separados por ; Tonf-s²/m

Ingresar diametro de columnas por piso de arriba hacia abajo separados por ; m

Ingresar altura de columnas por piso de arriba hacia abajo separados por ; m

Ingresar numero de columnas por piso de arriba hacia abajo separados por ;

Analisis de la estructura con columnas circulares mediante espectro de aceleraciones.

Función Sísmica

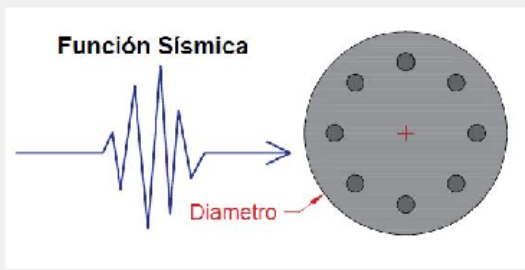


Figura 23. Datos de propiedades para columnas circulares ingresados en el programa

Seguido a haber llenado todos los campos impuestos debido a la elección de ‘Columnas Circulares’, como tercer paso se debe definir la función sísmica a ser impuesta, ya que el ejercicio pide ingresar el registro de espectro de aceleraciones del

terremoto de México en 1995, esto se lo realiza presionando Definir→Función Sísmica→Espectro de Respuesta.

Seguido a esto se debe ingresar el registro presionando el botón de ‘Buscar registro de Espectro’ para poder ubicar el registro en la computadora. Una vez impuesto el registro este se mostrará en el recuadro superior derecho de la pantalla.

Seguido a esto se debe llenar todos los campos requeridos con la información del registro y los datos dados de la estructura llegando a obtener los campos como se aprecia en la figura 24.

Es muy importante tener en cuenta las unidades del registro ingresado ya que esto es de suma importancia para que los resultados den en las unidades deseadas. En el caso del espectro ingresado las unidades del registro se encuentran en función de la gravedad por esta razón se impone las unidades en g.

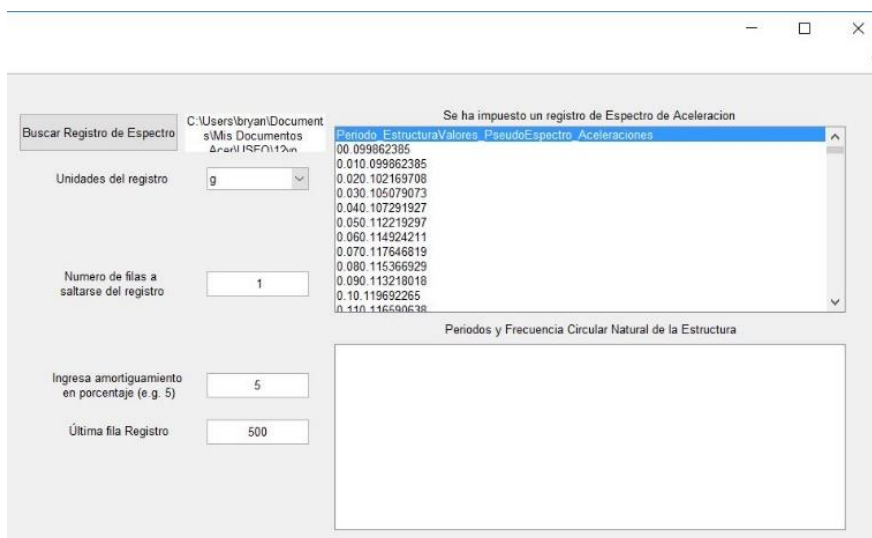


Figura 24. Datos ingresados del registro de espectro de aceleración

Se puede apreciar claramente que se ha elegido un registro de espectro de aceleraciones ya que en la parte superior de la ventana utilizada aparece un texto el cual indica que se ha ingresado un espectro como registro. Es importante imponer la última fila del registro ya que el registro elegido podría tener más de un campo de datos.

Los registros de espectro ingresados deben ser de la forma que se muestra en la figura 59. El paso de tiempo del registro es irrelevante ya que el programa interpola cualquier valor del registro dado a paso de 0.01 segundos, dando así la opción al usuario de imponerse un espectro cualquiera realizado por él.

Como cuarto paso se debe decidir el análisis que se desea realizar ya sea este superposición modal o análisis modal espectral. Para un registro de espectro de aceleraciones es recomendable realizar un análisis mediante el método de análisis modal espectral ya que solamente se puede obtener respuestas máximas a partir de este registro.

Para realizar esto se debe elegir Análisis→Análisis modal espectral. Esta opción desplegará un botón para correr el análisis y a su vez habilitará el recuadro utilizado para visualizar resultados.

Una vez elegido el análisis se oprime el botón que dice correr análisis modal espectral para que el programa se ejecute. Se sabrá que el programa, está corriendo cuando aparezca una barra de espera en la pantalla la cual indica que el programa se está ejecutando, al final de la ejecución del programa aparecerá un recuadro el cual diga que el programa se ha ejecutado con éxito, si esto no sucede se debe revisar los datos ingresados.

Cabe mencionar en este punto que todo campo visible en pantalla es de carácter obligatorio llenarlo para que el programa funcione como se espera.

Una vez corrido el análisis se puede visualizar todos los resultados posibles (Consultar el manual de usuario para ver qué resultados puedo obtener del análisis realizado).

En las figuras 25 y 26 se aprecian algunos resultados que se pueden obtener del análisis realizado.

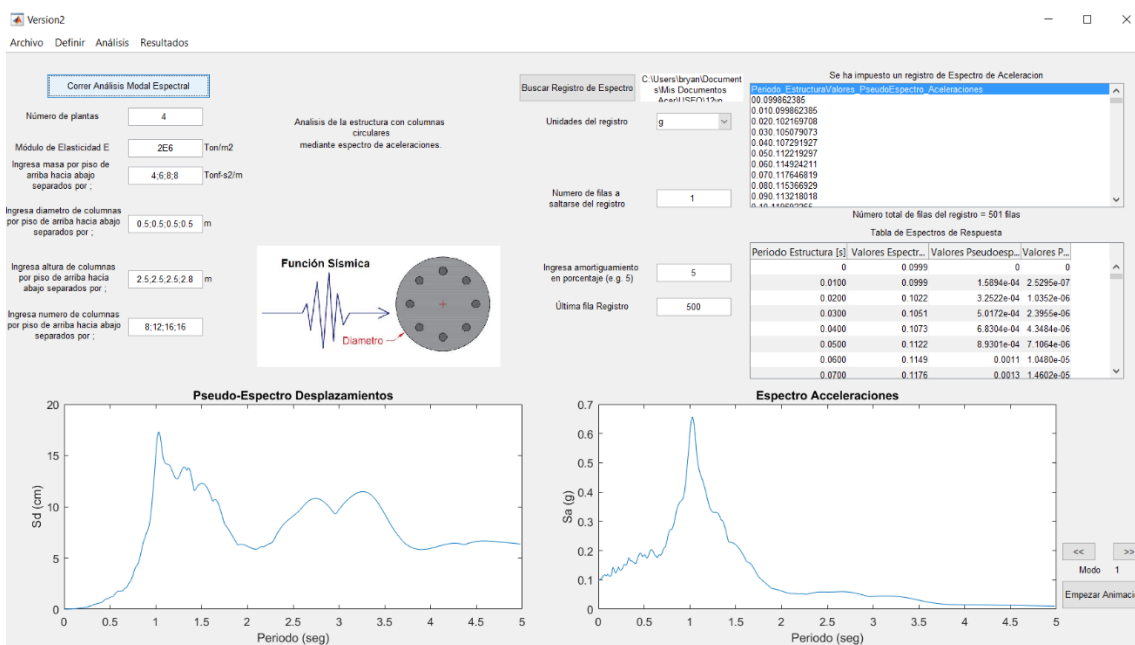


Figura 25. Resultados de tabla de espectros y gráficos de espectro de aceleraciones ingresado y espectro de desplazamientos

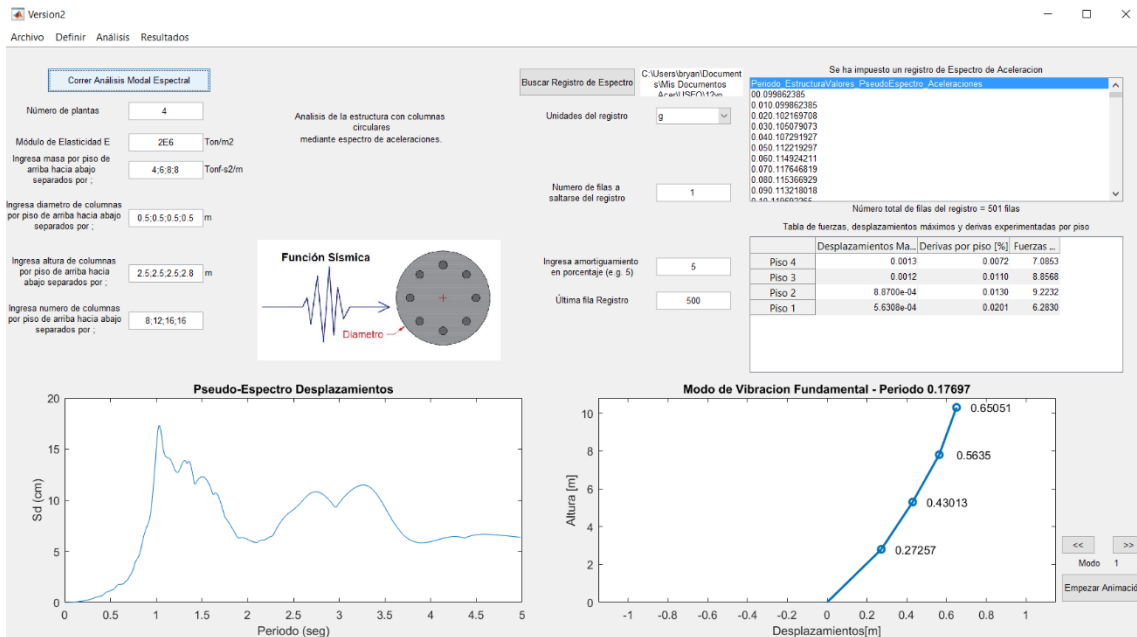


Figura 26. Resultados de desplazamientos, fuerzas máximas y derivas en tabla y modo de vibración fundamental de la estructura

De las anteriores figuras se muestra el resultado de desplazamientos los cuales son los siguientes:

- Piso 4 = 0.0013m
- Piso 3 = 0.0012m
- Piso 2 = 0.000887m
- Piso 1 = 0.000563m

Se han mostrado solo algunos resultados de los cuales se puede obtener mediante el análisis realizado, para más referencia de que resultados se puede obtener a partir de qué tipo de análisis se pide al usuario que se refiera al manual de usuario.

2.1.3.4 Ejemplo 2 realizado en ETABS.

Para iniciar el modelo impuesto del ejemplo 2 en ETABS primero se ingresa la geometría de la estructura a ser analizada como se observa en la figura 27.

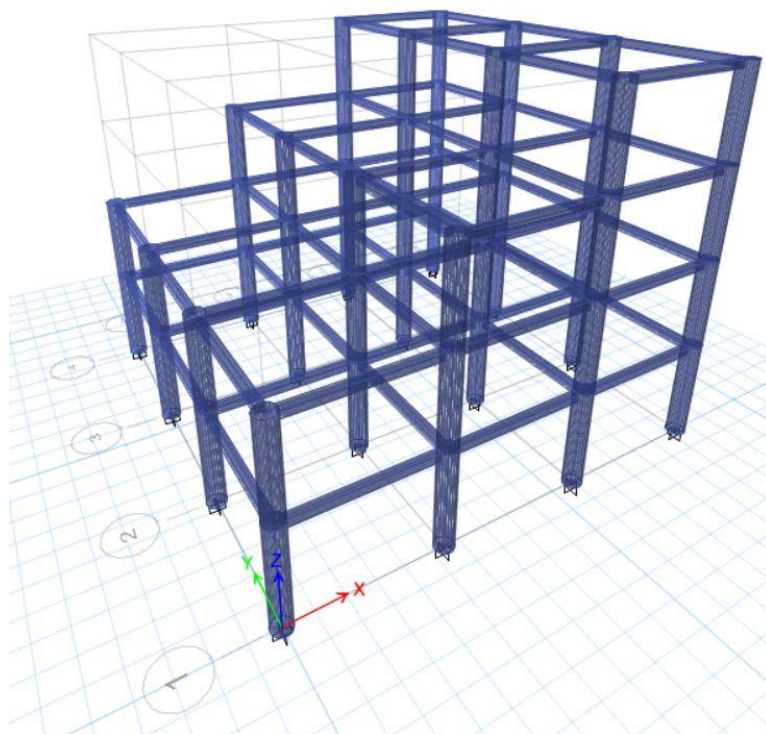


Figura 27. Geometría de la estructura modelada en ETABS ejemplo 2

La estructura de la figura 27 tiene exactamente las mismas dimensiones de columnas, altura de columnas y número de columnas como especificado en el ejemplo 2 realizado anteriormente. En la figura 28 se aprecia las dimensiones tomadas para las columnas de todos los pisos.

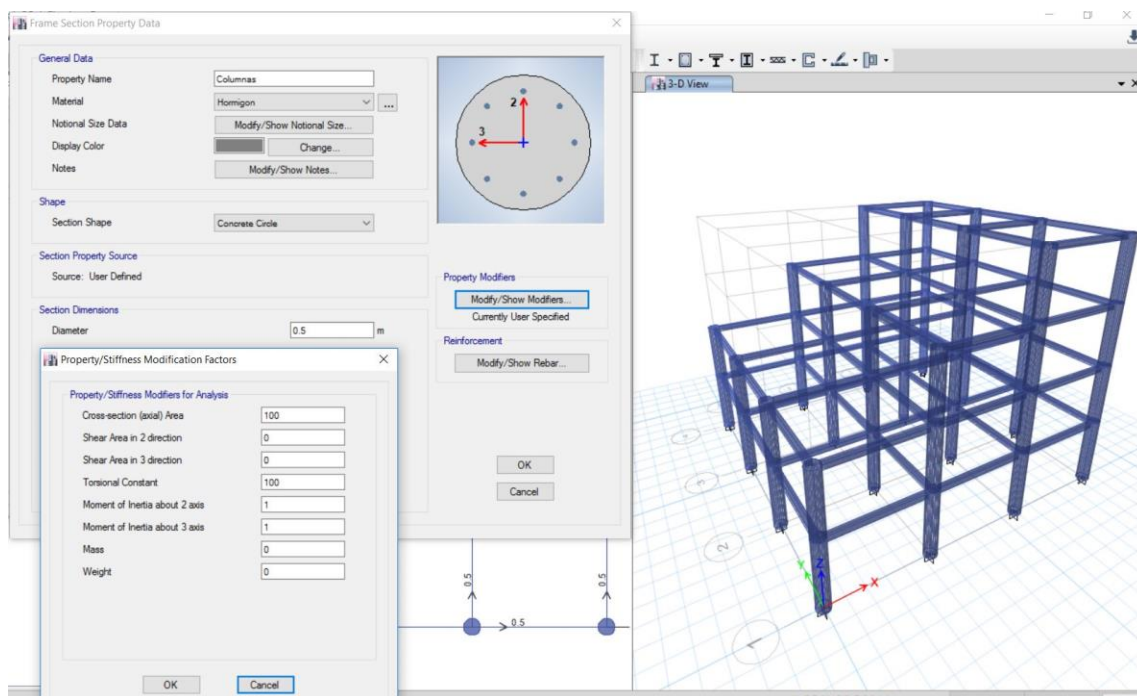


Figura 28. Dimensiones de columnas asignadas en ETABS ejemplo 2

Las vigas fueron asignadas de tal forma que su efecto sea casi despreciable para corte y torsión.

A continuación de imponer la geometría de la estructura de la manera correcta, se procede a ingresar la función sísmica tal cual la ingresamos para el programa. El ingreso de la función sísmica se aprecia en la figura 29.

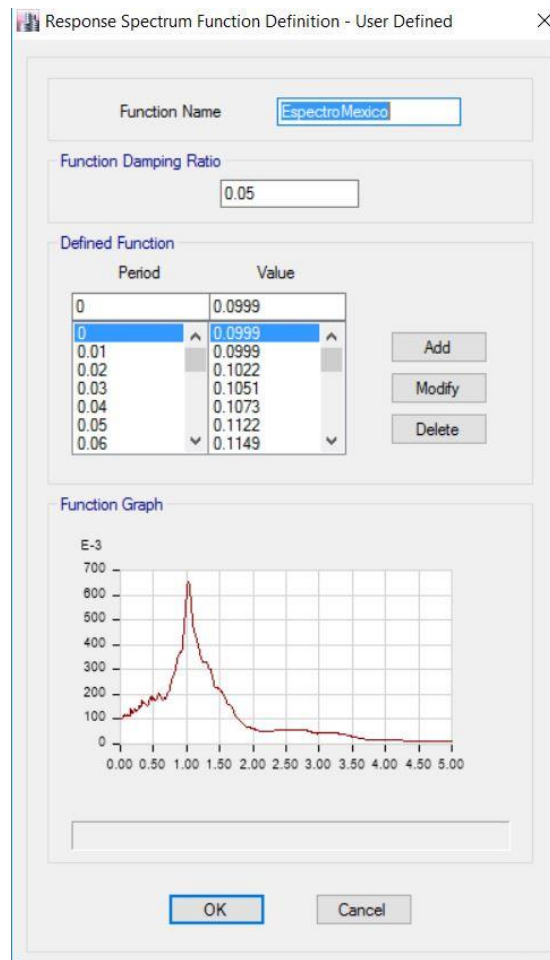


Figura 29. Función sísmica ingresada como espectro de aceleraciones al programa de ETABS

La función sísmica empleada es exactamente la misma que en el ejemplo 2 y se lo puede apreciar mediante la gráfica reproducida, ya que esta es la misma que se logra encontrar en el ejemplo 2. La dirección del sismo es en sentido X para lograr el análisis deseado. Para lograr esto se impone el sismo para que afecte a la estructura en esta dirección como se observa la figura 30.

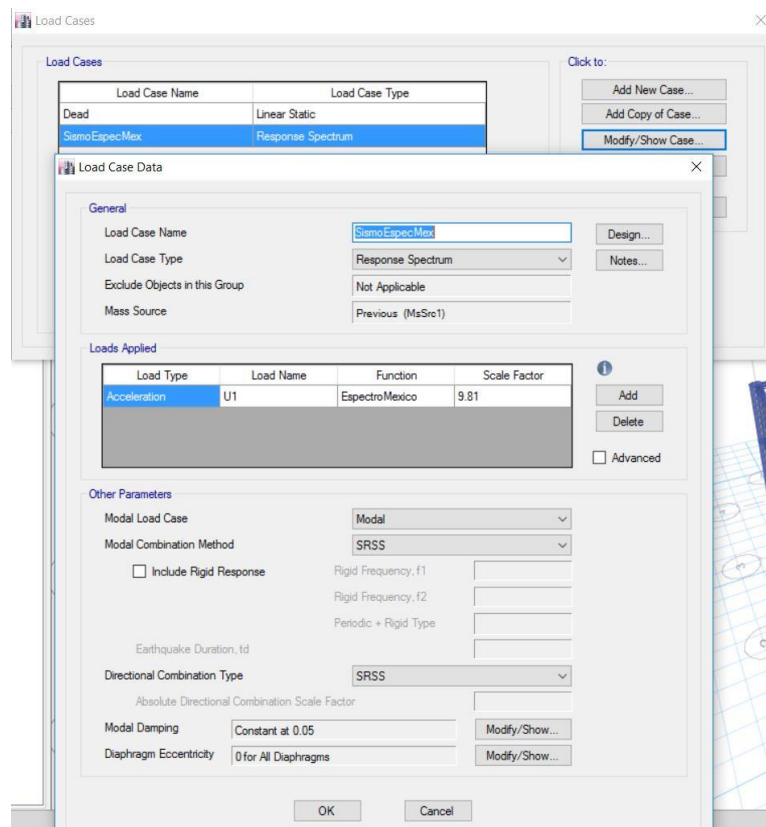


Figura 30. Ingreso de sentido de afectación del espectro y corrección debido a unidades ETABS ejemplo 2

En la figura 30 se observa cómo se realiza la corrección debido a las unidades del registro para que este se obtenga en las unidades deseada de metros, el sentido en que se aplica el sismo y el número de datos que se calculan para que exista convergencia en el cálculo.

Ingresada la función y los casos de carga debido al sismo se procede a asignar las masas por piso descritas en el ejemplo 2 como se muestra a continuación en la figura 31.

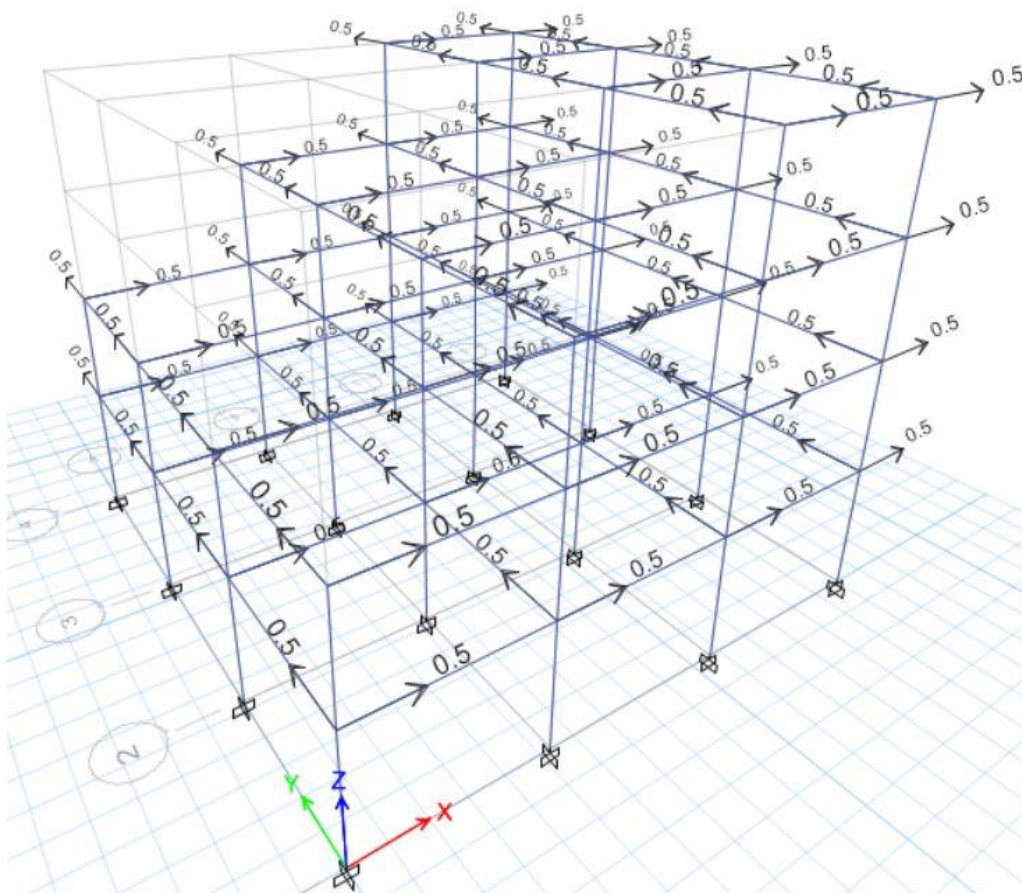


Figura 31. Modelamiento de masas impuestas por piso en ETABS ejemplo 2

Para crear el ejemplo descrito en el ejemplo 2 se optó por distribuir las masas en los nudos de los pisos para que estas sean equivalentes a las masas descritas en el ejemplo 2. De esta manera se logra modelar de manera correcta el ejercicio ejemplificado.

Una vez que se ha asignado de manera correcta la función sísmica, la geometría de la estructura y las masas por cada piso, se procede a activar los grados de libertad para el análisis, en el caso de este ejemplo se activa únicamente el análisis en el sentido X ya que en esta dirección actúa el sismo.

Una vez corrido el programa en ETABS se obtiene los siguientes resultados los cuales son similares a los obtenidos gracias al programa creado para este proyecto.

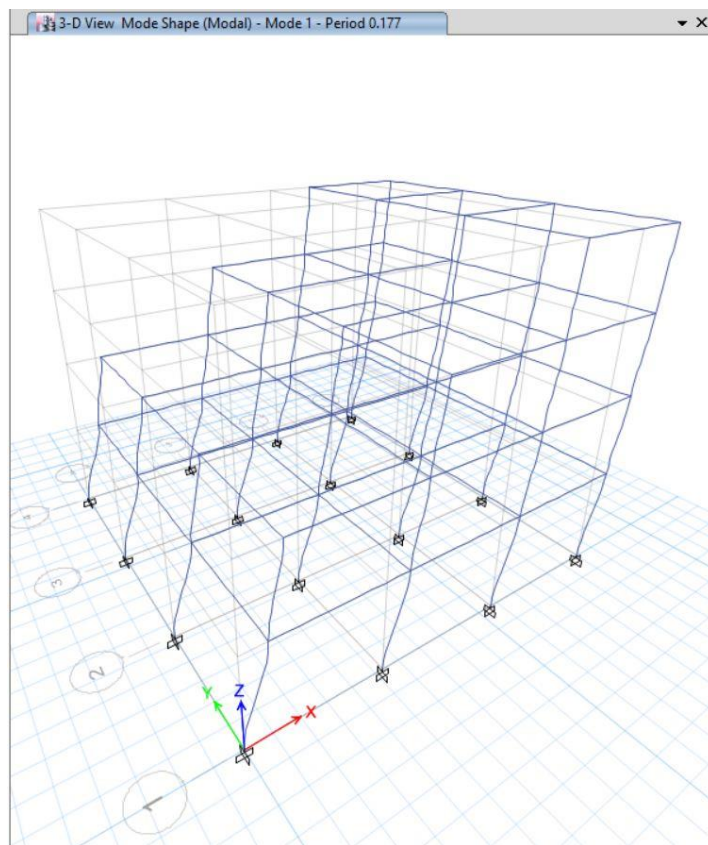


Figura 32. Modo fundamental de vibración de la estructura ETABS ejemplo 2

Se aprecia de la figura 32 que el periodo para el primer modo fundamental de vibración es de 0.177 segundos lo cual es un valor extremadamente similar al obtenido en el ejemplo 2 debido al programa.

De igual manera se puede apreciar los desplazamientos máximos de la estructura, los cuales son muy similares a los calculados anteriormente mediante el programa desarrollado como se logra apreciar en la figura 33.

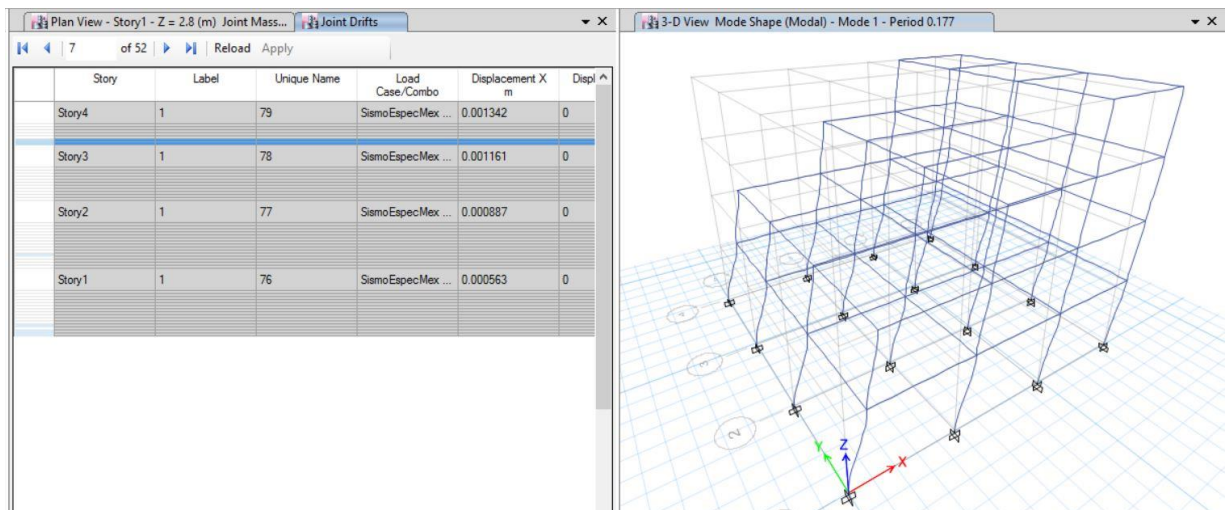


Figura 33. Desplazamientos máximos de la estructura ETABS ejemplo 2

Los desplazamientos máximos son:

- Piso 4 = 0.00134m
- Piso 3 = 0.001161m
- Piso 2 = 0.000887m
- Piso 1 = 0.000563m

Los cuales son los mismos que en el ejemplo 2.

2.1.3.5 Ejemplo 3.

A continuación, se realizará el análisis de un edificio de 2 pisos el cual tenga empotramientos en todas sus columnas y masas concentradas en cada piso. La estructura será hecha de acero y tendrá las siguientes propiedades:

- Módulo de elasticidad = $2E7 \text{ Ton/m}^2$

- Masa en el primer = $4.5 \text{ Ton-s}^2/\text{m}$
- Masa en el último piso = $4 \text{ Ton-s}^2/\text{m}$
- Dimensiones de columnas tipo I para todos los pisos (figura34).
- Altura del primer piso = 4m
- Altura del segundo piso = 3m
- Número de columnas en el primer piso= 9
- Número de columnas en el segundo piso = 8
- Amortiguamiento de la estructura = 5%
- Espectro de diseño NEC ingresado con los siguientes datos:
 - Ciudad = Portoviejo
 - Tipo de suelo = E
 - $Z = 0.5g$
 - η (eta) = 1.8
 - $r = 1.5$
 - $F_s = 2$
 - $F_d = 1.5$

- $F_a = 0.85$

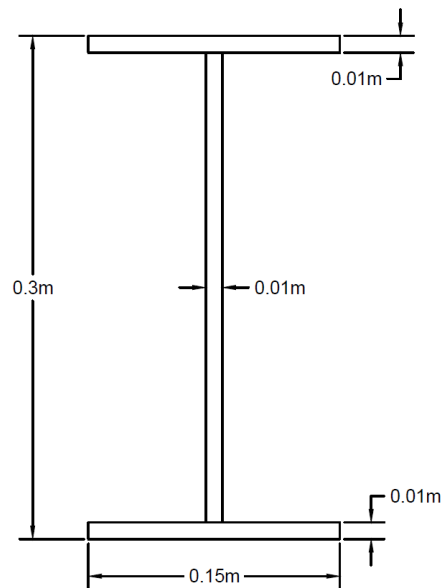


Figura 34. Viga tipo I impuesta en ejemplo 3

El usuario para estos tipos de casos debe calcular la rigidez por su cuenta para tipo de sección transversal impuesta. Para este ejemplo la rigidez por piso es la siguiente habiendo tomado en cuenta el número de columnas por piso y el módulo de elasticidad del acero como dado en los datos.

- Rigidez piso 1 = 2733.75 Ton/m
- Rigidez piso 2 = 5760 Ton/m

Con los datos mencionados se puede calcular la respuesta de esta estructura mediante el programa de la siguiente manera.

Primero se crea un nuevo modelo presionando Archivo → Nuevo Modelo. La ventana para crear un nuevo modelo se muestra en la figura 9 del ejemplo 1.

Seguido a la creación de un nuevo modelo se puede optar por llenar los recuadros que hayan aparecido o definir las propiedades.

Como segundo paso se debe definir las propiedades que en este caso es la de ingresar las rigideces de la estructura por piso presionando Definir→Propiedades→Rigidez por piso.

Se debe llenar todos los campos requerido con los datos que han sido dados de la estructura como se muestra en la figura 35 a continuación.

Version2

Archivo Definir Analisis Resultados

Correr Análisis Modal Espectral

Numero de plantas

Modulo de Elasticidad E Ton/m2

Ingresa masa por piso de arriba hacia abajo separados por ; Tonf-s2/m

Ingresa rigidez por piso de arriba hacia abajo separados por ; Ton/m

Ingresa altura de columnas por piso de arriba hacia abajo separados por ; m

Análisis de la estructura con rigidez por piso mediante espectro de diseño NEC.

Figura 35. Datos de propiedades y rigidez para columnas ingresados en el programa

Seguido a haber llenado todos los campos, como tercer paso se debe definir la función sísmica a ser impuesta, ya que el ejercicio pide un espectro de diseño por NEC se ingresa este, esto se lo realiza presionando Definir→Función Sísmica→Espectro de diseño NEC.

Una vez ingresado todos los datos requeridos por el programa, el usuario tiene la opción de realizar un cálculo rápido del espectro de diseño de aceleraciones, velocidades y desplazamientos con sus respectivos gráficos.

Las unidades en las que se obtiene el espectro de aceleraciones de diseño es siempre en unidades de g por esta razón no se permite cambiar las unidades cuando se impone un espectro de diseño NEC.

Un recuadro de periodo máximo de estructura para espectro aparece en la pantalla conjunto a los demás cuadros, este cuadro en específico sirve para calcular el espectro de respuesta del registro de aceleraciones ingresado, es común darle un valor entre 4 y 5 segundos ya que las respuestas máximas no suelen ser mayores a estos valores.

En la figura 36 se aprecia los datos ingresados para el cálculo del espectro de diseño y los valores obtenidos después de haber calculado de manera rápida el espectro de diseño.

Version2

Archivo Definir Analisis Resultados

Correr Analisis Modal Espectral

Numero de plantas: 2

Modulo de Elasticidad E: 2E7 Ton/m²

Ingresar masa por piso de arriba hacia abajo separados por ;: 4.4.5 Tonf-s²/m

Ingresar rigidez por piso de arriba hacia abajo separados por ;: 5760.2733.75 Ton/m

Ingresar altura de columnas por piso de arriba hacia abajo separados por ;: 3.4 m

Ingresar amortiguamiento en porcentaje (e.g. 5): 5

Analisis de la estructura con rigidez por piso mediante espectro de diseño NEC.

Unidades del registro: g

Ingresar el factor eta: 1.8

Ingresar el factor z: 0.5

Ingresar el factor Fa: 0.85

Ingresar el factor Fs: 2

Ingresar el factor Fd: 1.5

Ingresar el factor r: 1.5

Ingresar periodo máximo de estructura para espectro: 5

Se ha impuesto Calcular un Espectro con NEC

Resultado de valores de espectros calculados por norma NEC

Periodo	Valores Espectro	Aceleracion [g]	Valores E...	Valores E...
0	0.7650	0	0	0
0.0100	0.7650	1.1944	0.0019	
0.0200	0.7650	2.3888	0.0076	
0.0300	0.7650	3.5832	0.0171	
0.0400	0.7650	4.7776	0.0304	
0.0500	0.7650	5.9720	0.0475	
0.0600	0.7650	7.1664	0.0684	
0.0700	0.7650	8.3608	0.0931	

Figura 36. Datos ingresados para espectro NEC y cálculo de espectro de diseño

Como cuarto paso se decide el tipo de análisis como ‘análisis modal espectral’. Para realizar esto se debe elegir Análisis→Análisis modal espectral. Esta opción desplegará un botón para correr el análisis y a su vez habilitará el recuadro utilizado para visualizar resultados.

Una vez elegido el análisis se oprime el botón que dice correr análisis modal espectral para que el programa se ejecute. Se sabrá que el programa, esta corriendo cuando aparezca una barra de espera en la pantalla la cual indica que el programa se esta ejecutando, al final de la ejecución del programa aparecerá un recuadro el cual diga que el programa se ha ejecutado con éxito y aparecerá graficada la estructura impuesta en el recuadro inferior derecho, si esto no sucede se debe revisar los datos ingresados.

Cabe mencionar en este punto, que todo campo visible en pantalla es de carácter obligatorio llenarlo para que el programa funcione como se espera.

Una vez corrido el análisis se puede visualizar todos los resultados posibles (Consultar el manual de usuario para ver qué resultados puedo obtener del análisis realizado).

En las figuras 37 y 38 se aprecian algunos resultados que se pueden obtener del análisis realizado.

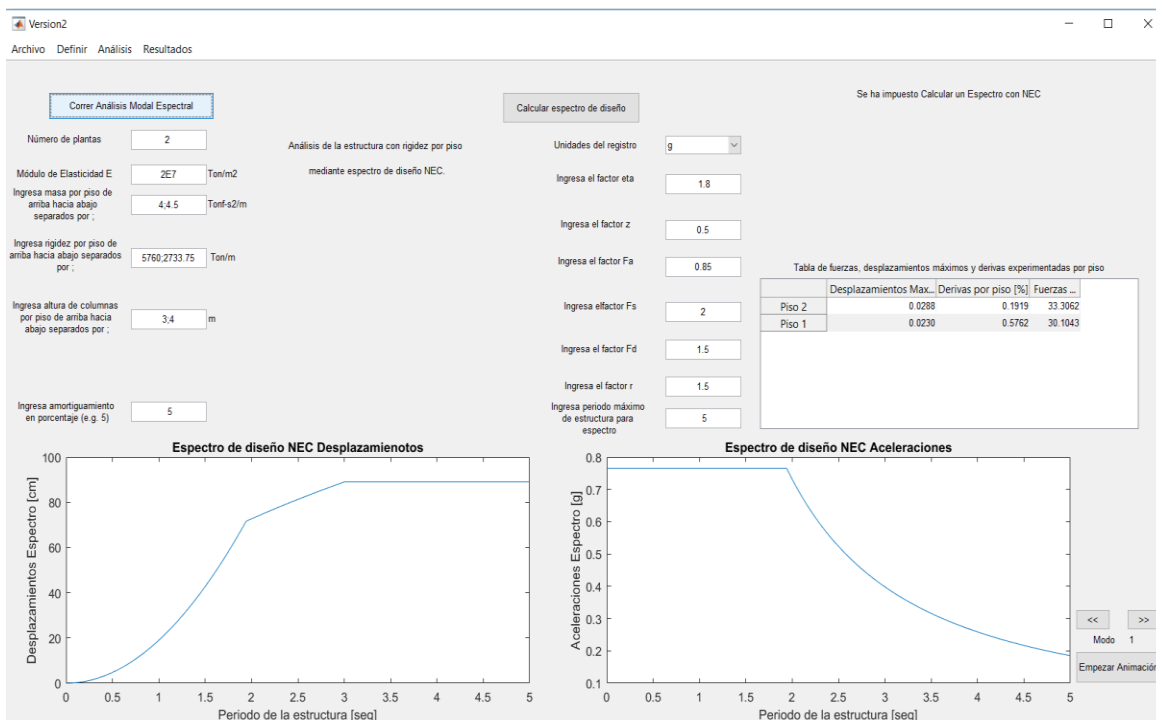


Figura 37. Resultados de espectros y tabla de fuerzas, desplazamientos y derivas

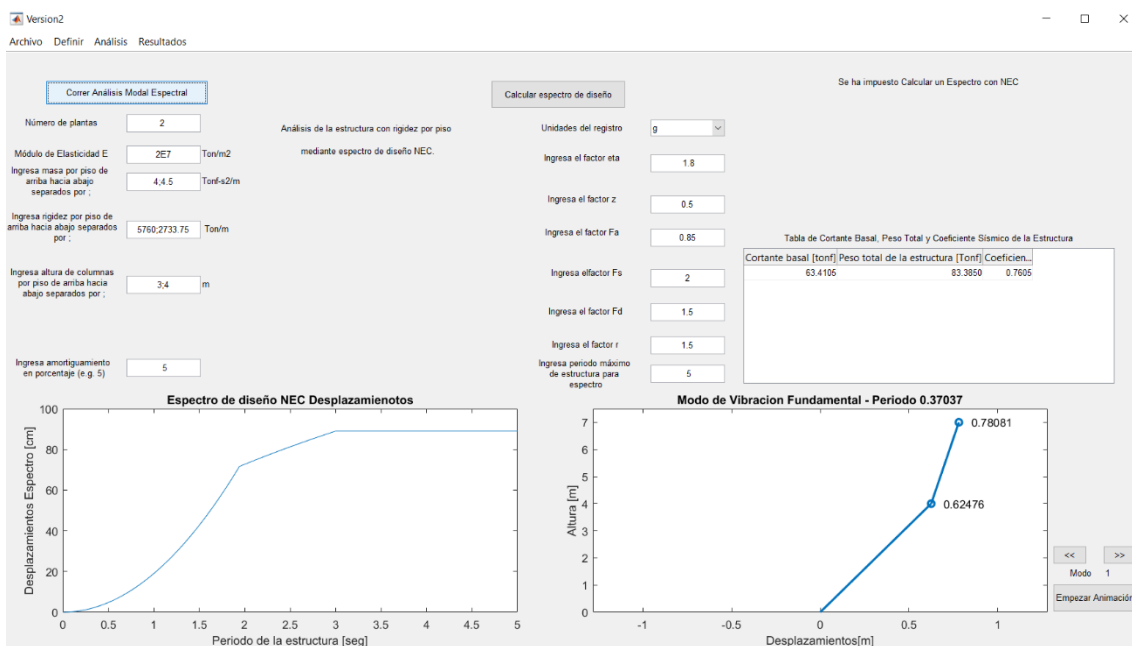


Figura 38. Resultados de espectro de desplazamientos, modo fundamental de vibración de la estructura y tabla de cortante basal, peso de la estructura y coeficiente sísmico

Los desplazamientos máximos obtenidos por el programa son los siguientes:

- Piso 2 = 0.0288m
- Piso 1 = 0.023m

Se han mostrado solo algunos resultados de los cuales se puede obtener mediante el análisis realizado, para más referencia de que resultados se puede obtener a partir de qué tipo de análisis se pide al usuario que se refiera al manual de usuario.

2.1.3.6 Ejemplo 3 realizado en ETABS.

Para iniciar el modelo impuesto del ejemplo 3 en ETABS primero se ingresa la geometría de la estructura a ser analizada como se observa en la figura 39.

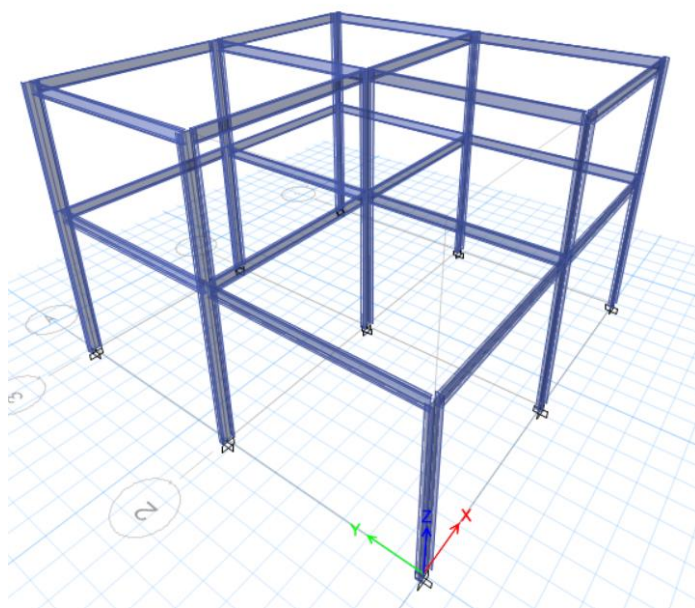


Figura 39. Geometría de la estructura modelada en ETABS

La estructura de la figura 39 tiene exactamente las mismas dimensiones de

columnas, altura de columnas y numero de columnas como especificado en el ejemplo 3 realizado anteriormente. En la figura 40 se aprecia las dimensiones tomadas para las columnas de todos los pisos.

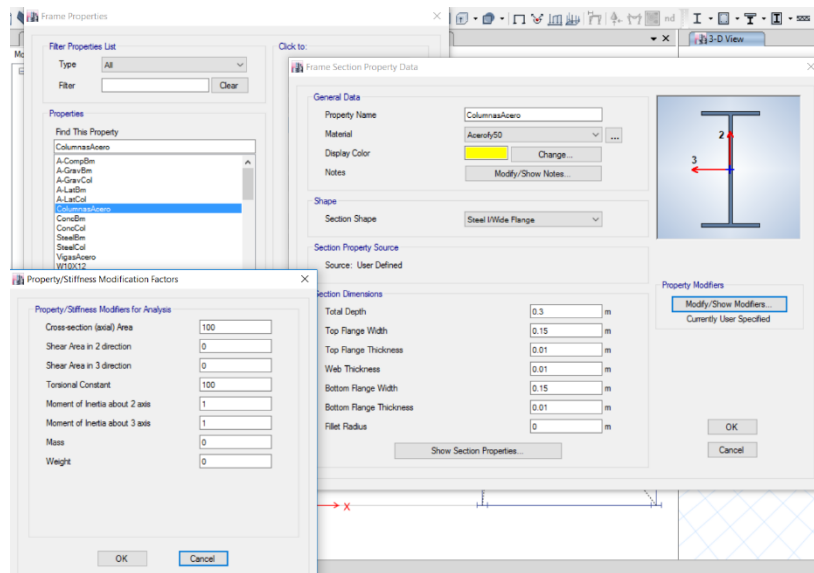


Figura 40. Dimensiones de columnas asignadas en ETABS

Las vigas fueron asignadas de tal forma que su efecto sea casi despreciable para corte y torsión.

A continuación de imponer la geometría de la estructura de la manera correcta, se procede a ingresar la función sísmica tal cual la ingresamos para el programa. El ingreso de la función sísmica se aprecia en la figura 41.

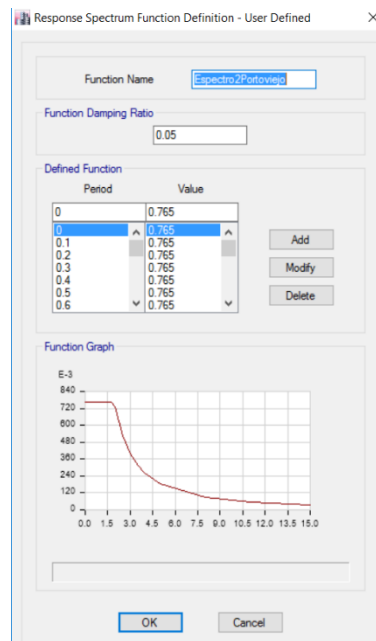


Figura 41. Función sísmica ingresada como espectro de diseño NEC al programa de ETABS

La función sísmica empleada es exactamente la misma que en el ejemplo 3 y se lo puede apreciar mediante la gráfica reproducida, ya que esta es la misma que se logra encontrar en el ejemplo 3. La dirección del sismo es en sentido X para lograr el análisis deseado. Para lograr esto se impone el sismo para que afecte a la estructura en esta dirección como se observa la figura 42.

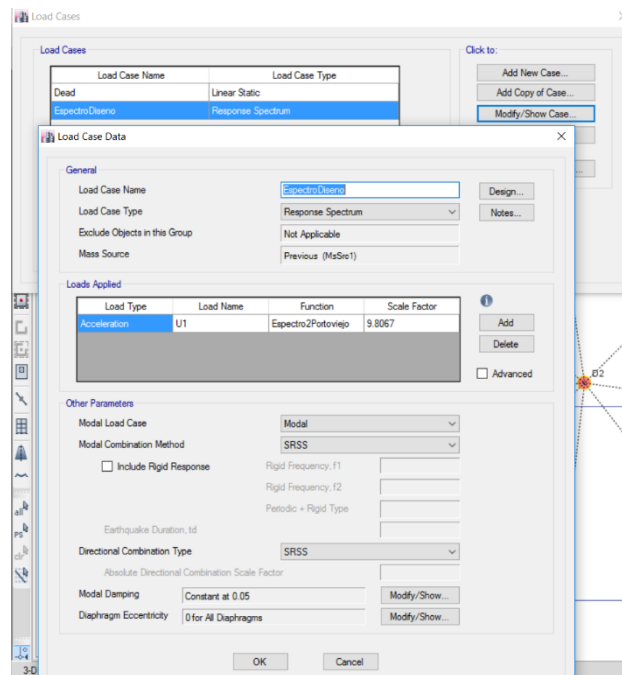


Figura 42. Ingreso de sentido de afectación del sismo y corrección debido a unidades ETABS

En la figura 42 se observa cómo se realiza la corrección debido a las unidades del registro para que este se obtenga en las unidades deseada de metros y el sentido en que se aplica el sismo.

Ingresada la función y los casos de carga debido al sismo se procede a asignar las masas por piso descritas en el ejemplo 3 como se muestra en la figura 43.

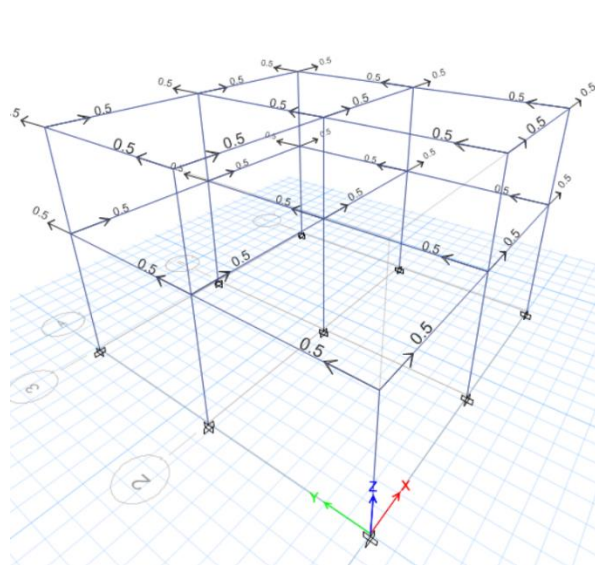


Figura 43. Modelamiento de masas impuestas por piso en ETABS

Para crear el ejercicio descrito en el ejemplo 3 se optó por distribuir las masas en los nudos de los pisos para que estas sean equivalentes a las masas descritas en el ejemplo 3. De esta manera se logra modelar de manera correcta el ejercicio ejemplificado anteriormente.

Una vez que se ha asignado de manera correcta la función sísmica, la geometría de la estructura y las masas por cada piso, se procede a activar los grados de libertad para el análisis, en el caso de este ejemplo se activa únicamente el análisis en el sentido X ya que en esta dirección actúa el sismo.

Una vez corrido el programa en ETABS se obtiene los siguientes resultados los cuales son casi iguales a los obtenidos gracias al programa creado para este proyecto.

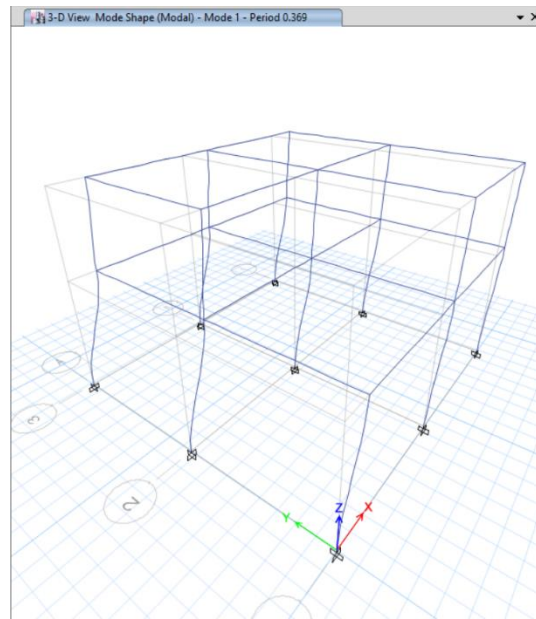


Figura 44. Modo fundamental de vibración de la estructura ETABS

Se aprecia de la figura 44 que el periodo para el primer modo fundamental de vibración es de 0.369 segundos lo cual es un valor extremadamente similar al obtenido en el ejemplo 3 debido al programa.

De igual manera de la figura 45 se puede apreciar los desplazamientos máximos de la estructura, los cuales son muy similares a los calculados anteriormente mediante el programa desarrollado.

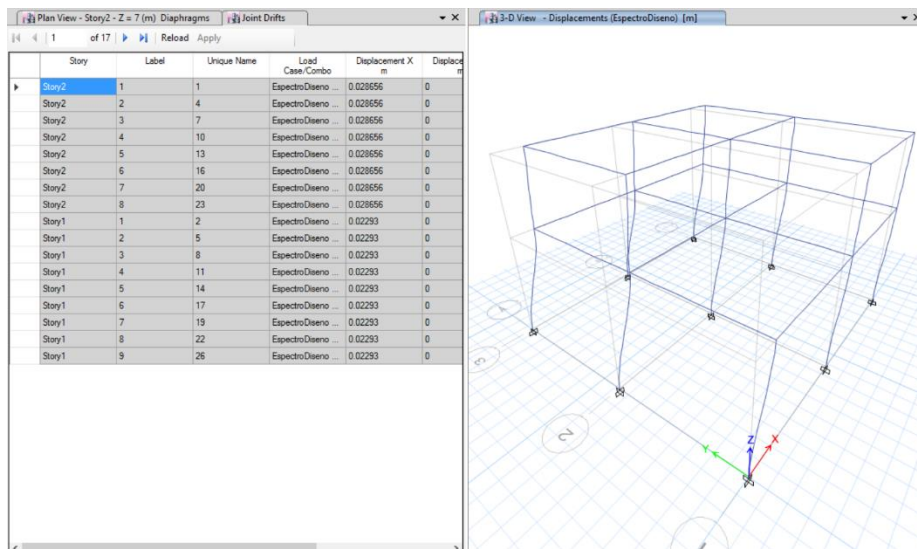


Figura 45. Desplazamientos máximos de la estructura ETABS

Los valores obtenidos de desplazamientos son los siguientes:

- Piso 2 = 0.028m
- Piso 1 = 0.022m

Los cuales son los mismos que en el ejemplo 3.

2.1.4 Manual del usuario.

2.1.4.1 Requisitos para instalación del programa.

El programa ha sido diseñado para que funcione en Windows únicamente razón por la cual el programa debería solo ser instalado en computadores con este sistema operativo.

Ya que el programa tiene la capacidad de generar reportes en WORD o PDF se recomienda tener Microsoft Word Office instalado en el computador al igual que un visualizador de archivos PDF como ADOBE ACROBAT.

Para la instalación del programa es necesario que el usuario se encuentre conectado a una red de internet estable para la instalación del programa ya que el programa requerirá descargarse librerías para el funcionamiento del mismo.

Es recomendable instalar el programa en computadoras con una resolución de 1920x1080 o mayor para una experiencia gráfica óptima, ya que el programa fue desarrollado en esta resolución; sin embargo, el programa se adaptará a otras resoluciones si es necesario.

2.1.4.2 Instalación del programa.

El archivo de instalación del programa puede ser descargado a través del link mostrado en el anexo A del presente documento. Una vez descargada la carpeta que contiene el programa simplemente se debe abrir la carpeta la cual dice CSA2017, seguido a esto se abre la carpeta con el nombre for_redistribution, finalmente se debe hacer doble-click en el ejecutable que dice MyAppinstaller_web.exe y seguir los pasos que el proceso de instalación para el programa lo indique.

La carpeta de instalación del programa contendrá un archivo de texto con el nombre de manual de instalación el cual ayudará en la instalación del programa en caso de que se tenga alguna dificultad al hacerlo. De igual manera la carpeta bajada contiene otros archivos de texto los cuales indican de donde bajarse las librerías requeridas por el

programa en el caso de que haya existido algún problema al momento de haber instalado el programa.

2.1.4.3 *Pantalla inicial.*

La pantalla inicial como se muestra en la figura 46 guía al usuario de una manera breve en los pasos generales a seguir para el uso del programa. La pantalla inicial comienza dando la opción de abrir un nuevo modelo, sin embargo, se podría elegir abrir un modelo ya creado anteriormente.



Figura 46. Pantalla inicial del programa

2.1.4.4 *Archivo.*

En la barra de menú como primera opción se tiene 'Archivo', al desplegar esta opción se tiene 3 opciones diferentes:

- Nuevo Modelo
- Abrir Modelo
- Guardar

Cada una de las opciones mencionadas tiene un comando directo para su ejecución rápida como se logra apreciar en la figura 47.



Figura 47. Menú Archivo

2.1.4.4.1 Nuevo Modelo.

Al ejecutar el comando de 'Nuevo Modelo' ya sea oprimiendo por encima de este o ejecutando el comando de ejecución directa, se abrirá una pantalla nueva la cual contenga recuadros obligatorios a ser llenados como:

- El número de plantas o pisos que tiene la estructura.
- El módulo de elasticidad del material utilizado específicamente en las columnas del edificio.

- La masa equivalente por piso de la estructura

- La base, diámetro o rigidez por piso de las columnas.

- La altura (eje a eje) de las columnas por piso

Se debe tomar en consideración que todos los valores ingresados que se han mencionado deben ser ingresados en manera de vector separados por punto y coma (;) desde el piso de arriba, hasta el último piso de la parte inferior de la estructura (los valores del número de pisos y el módulo de elasticidad son valores escalares no ingresarlos como vectores).

El programa está limitado a unidades de metros, toneladas y segundos. Razón por la cual se debe tomar en consideración el correcto ingreso de los datos con sus respectivas unidades mencionadas junto a los recuadros por ser llenados. En la figura 48 se puede apreciar el recuadro que se obtiene al oprimir en 'Nuevo Modelo'.

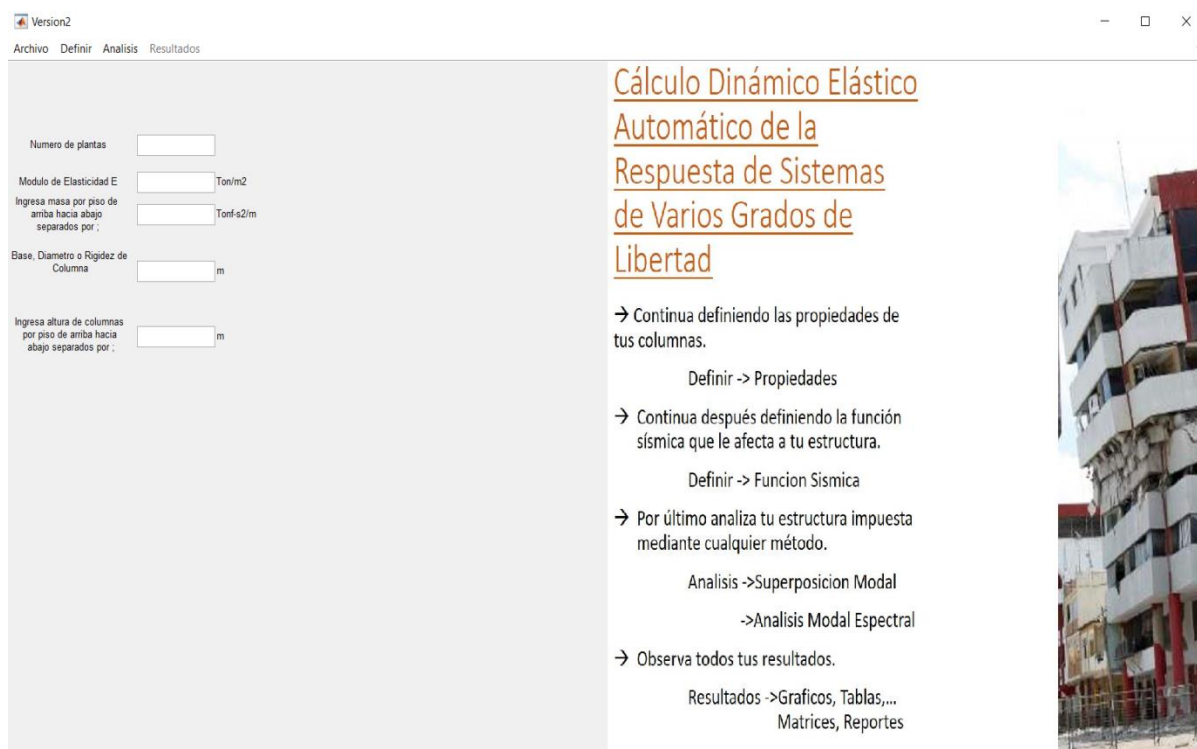


Figura 48. Pantalla desplegada en un nuevo modelo

Se puede observar de la figura 48 de igual manera que se desplegará un recuadro el cual ayuda al usuario a seguir los pasos necesarios para la correcta utilización del programa.

Cuando se halla ejecutado o corrido ya un análisis al final del programa, se puede de igual manera empezar un nuevo modelo oprimiendo en 'Nuevo Modelo' o presionando 'Ctrl+N'. El programa borrará automáticamente todas las variables globales creadas en el modelo anterior y vaciará todos los recuadros que hayan sido llenados. Si no se desea perder el trabajo realizado es recomendable guardar el modelo ejecutado o por ejecutar antes de abrir un nuevo modelo.

2.1.4.4.2 Abrir Modelo.

Al ejecutar el comando de ‘Abrir Modelo’ ya sea oprimiendo por encima de este o ejecutando el comando de ejecución directa, se abrirá un selector de archivos el cual permite buscar el modelo que ya se haya creado anteriormente en cualquier carpeta dentro del disco interno del computador en donde se encuentre el modelo. Los modelos guardados tienen una extensión (*.fig) lo cual es característicos de figuras en MATLAB (en este caso la interfaz gráfica es reconocida como una figura interactiva). En la figura 49 se puede apreciar un ejemplo del selector de archivos que se abre al momento de oprimir en ‘Abrir Modelo’.

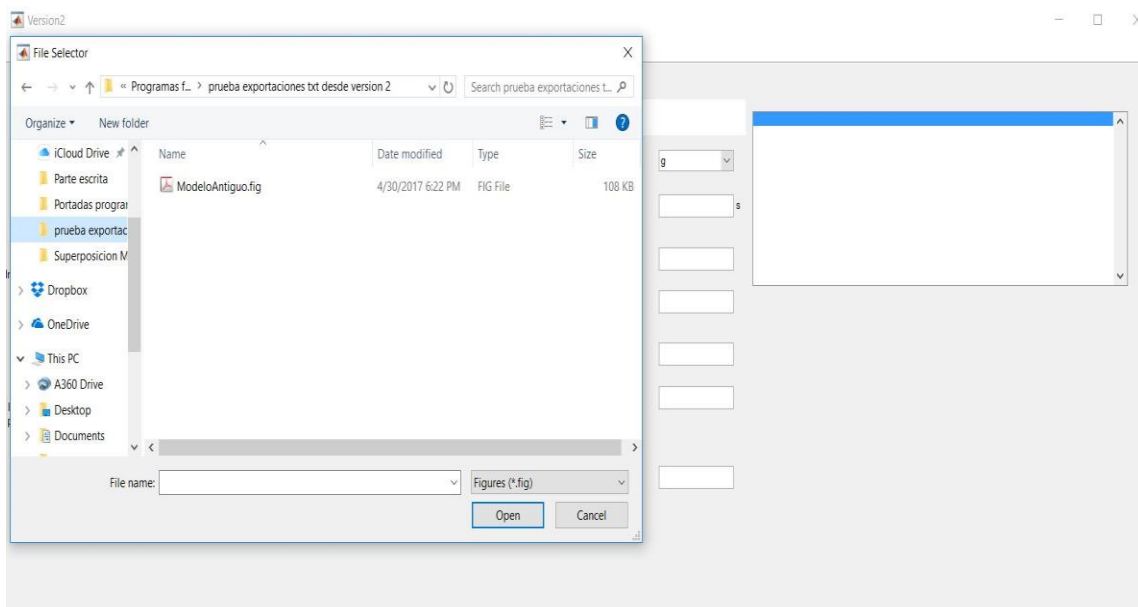


Figura 49. Selector de archivos desplegado para abrir modelos

2.1.4.4.3 Guardar.

Al ejecutar el comando de ‘Guardar’ ya sea oprimiendo por encima de este o

ejecutando el comando de ejecución directa ‘Ctrl+S’, se abrirá un selector de archivos el cual permite guardar el modelo que ya se haya creado en cualquier carpeta que se desee el usuario para futuros trabajos en los que se requiera de los datos o resultados del modelo.

Los modelos guardados pueden ser abiertos desde el comando ‘Abrir Modelo’ u oprimiendo ‘Ctrl+O’. Se guardarán todos los datos impuestos hasta el momento de los recuadros llenados y el caso impuesto; de igual manera se almacenarán todas las variables calculadas y creadas hasta el momento, esto quiere decir que sin necesidad de volver a correr el programa este será capaz de desplegar todos los resultados correspondientes debido a la corrida anterior a guardarse que haya realizado el programa.

El usuario de esta manera estaría en la capacidad de guardarse sus propios modelos tipo o plantillas que probablemente tengan ciertas similitudes o bases para modelos futuros que el usuario desee realizar ya predeterminando valores que el usuario tome como constantes para sus proyectos. En la figura 50 se puede apreciar un ejemplo del tipo de selector de archivos que se abre al momento de oprimir en ‘Guardar’.

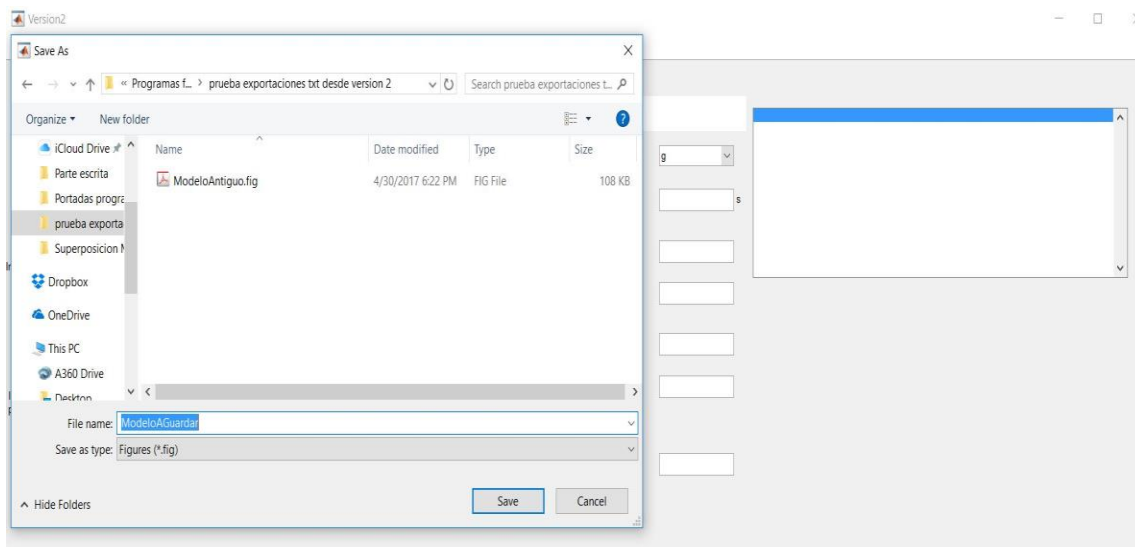


Figura 50. Selector de archivos desplegados para guardar modelos

2.1.4.5 Definir.

En la barra de menú como segundo ítem se encuentra ‘Definir’, en este menú el usuario posee dos opciones las cuales deben ser elegidas estrictamente para poder realizar el análisis de cualquier estructura deseada. Las dos opciones son las siguientes:

- Propiedades
- Función Sísmica

En la figura 51 se aprecia las opciones dadas al momento de desplegar el menú ‘Definir’.

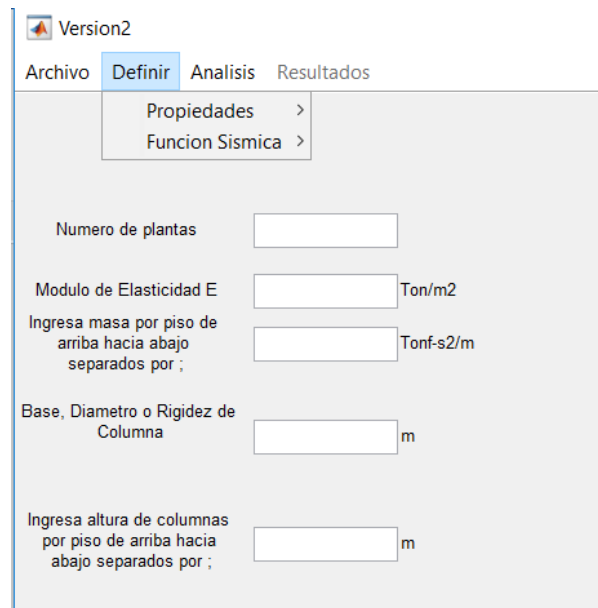


Figura 51. Menú Definir

2.1.4.5.1 Definición de propiedades.

Al momento de oprimir sobre ‘Propiedades’ se despliegan tres opciones más las cuales son:

- Columnas Rectangulares
- Columnas Circulares
- Ingresar Rigidez por Piso

La definición de propiedades es de gran importancia para el cálculo ya que pueden incrementar o disminuir las demandas en desplazamientos y fuerzas equivalente que va a experimentar la estructura que se desee imponer en el programa. En la figura 52

se aprecia las distintas opciones que se despliegan del sub menú de ‘Propiedades’.

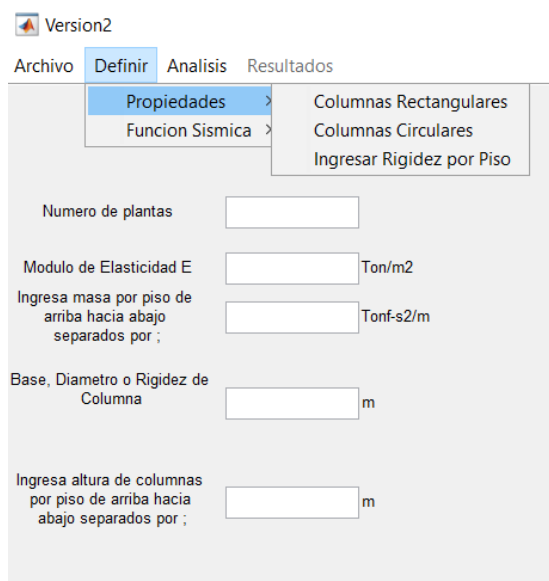


Figura 52. Sub menú Propiedades

2.1.4.5.1.1 Columnas rectangulares.

Al seleccionar columnas rectangulares como opción se determina la primera parte de un tipo de caso para que el programa sepa que caso es el que va analizar, como ya se ha mencionado, los posibles casos a ser corridos por el programa se encuentran anexados al final del documento en el apéndice A.

Esta opción de igual forma modifica las características de la interfaz creando nuevos recuadros de texto los cuales deben ser llenados de manera estricta tomando en cuenta siempre las unidades requeridas dentro de cada recuadro editable.

La selección ‘Columnas Rectangulares’ desplegará una ventana pequeña de graficación en la cual se mostrará la sección que haya sido colocada, en este caso se graficará un rectángulo o cuadrado dependiendo de las dimensiones de la columna

impuesta. En la gráfica únicamente se aprecia los valores de las columnas en el piso superior de la estructura ya que la intención es demostrar al usuario el tipo de elemento que haya decidido evaluar.

En este programa no existen valores predeterminados, razón por la cual el usuario debe determinar las dimensiones del elemento rectangular para que se logre graficar la sección transversal del elemento. En la figura 53 se aprecia los recuadros que deben ser llenados para determinar una sección rectangular transversal de las columnas de la estructura.

Figura 53. Recuadros habilitados para definir una sección rectangular

Al momento de elegir la opción de ‘Columnas Rectangulares’ debe aparecer un texto como el que se observa en la figura 53 el cual diga “Análisis de la estructura con columnas rectangulares”, esto indica efectivamente que se ha elegido la opción de ‘Columnas Rectangulares’ para el futuro análisis.

La grafica de ayuda para los pasos a seguir seguirá manteniéndose hasta definir

la función sísmica.

Las dimensiones de base y altura lateral de las columnas por piso deben ser ingresada al programa en sus respectivas casillas y en forma de vector con los valores de bases y altura lateral respectivamente separados por punto y coma (;) e ingresados desde el piso superior hasta el piso inferior en ese orden.

2.1.4.5.1.2 Columnas circulares.

Al seleccionar columnas circulares como opción se determina de igual manera la primera parte de un tipo de caso para que el programa sepa que caso es el que va analizar a futuro, como ya se ha mencionado, los posibles casos a ser corridos por el programa se encuentran anexados al final del documento en el apéndice A.

Esta opción de igual forma modifica las características de la interfaz creando nuevos recuadros de texto los cuales deben ser llenados de manera estricta tomando en cuenta siempre las unidades requeridas dentro de cada recuadro editable.

La selección ‘Columnas Circulares’ de igual manera desplegará una ventana pequeña de graficación en la cual se mostrará la sección transversal que haya sido colocada, en este caso se graficará una circunferencia con el diámetro dependiendo de las dimensiones de la columna impuesta. En la gráfica únicamente se aprecia los valores de las columnas en el piso superior de la estructura ya que la intención es demostrar al usuario el tipo de elemento que haya decidido evaluar.

En la figura 54 se aprecia los recuadros que deben ser llenados para determinar una sección circular transversal de las columnas de la estructura.

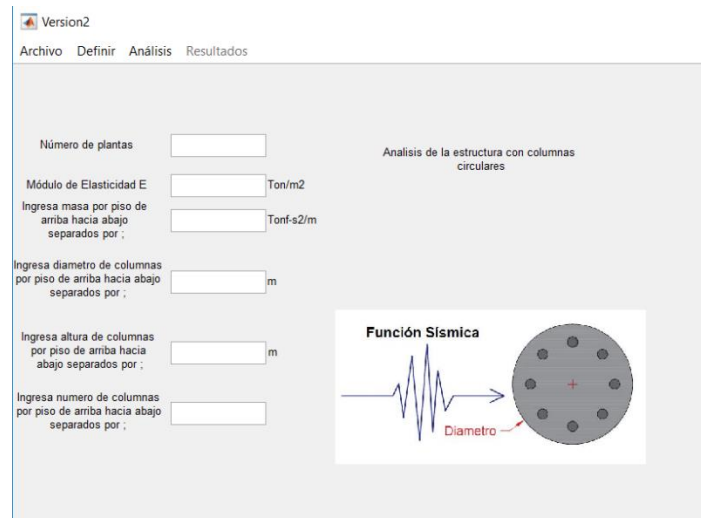


Figura 54. Recuadros habilitados para definir una sección circular

Al momento de elegir la opción de ‘Columnas Circulares’ debe aparecer un texto como el que se observa en la figura 54 el cual diga “Análisis de la estructura con columnas circulares”, esto indica efectivamente que se ha elegido la opción de ‘Columnas Circulares’ para el futuro análisis.

Las dimensiones de diámetros de las columnas por piso deben ser ingresada al programa en su respectiva casilla y en forma de vector con los valores de diámetros separados por punto y coma (;) e ingresados desde el piso superior hasta el piso inferior en ese orden.

2.1.4.5.1.3 Ingresar rigidez por piso.

Al seleccionar ‘Ingresar Rigidez por Piso’ como opción se determina la primera parte de un tipo de caso para que el programa sepa que caso es el que va analizar a futuro, como ya se ha mencionado antes, los posibles casos a ser corridos por el programa se encuentran anexados al final del documento en el apéndice A.

Esta opción de igual forma modifica las características de la interfaz creando nuevos recuadros de texto los cuales deben ser llenados de manera estricta tomando en cuenta siempre las unidades requeridas dentro de cada recuadro editable.

Al contrario de las otras dos posibles opciones de columnas este no crea una ventana de graficación ya que es indiferente a la geometría de la columna que se vaya a utilizar en el análisis. En esta opción se debe calcular la rigidez por piso de la estructura que se desee analizar.

La razón de tener esta opción es para no limitar al programa a cierto tipo de geometrías, sino que el usuario se encuentre en la capacidad de calcular su propia rigidez dependiendo de cualquier geometría que sus columnas tengan. La rigidez puede ser calculada mediante la ecuación 1 planteada en este documento u otros tipos de cálculos de rigidez dependiendo de la configuración de los elementos resistentes a desplazamiento de la estructura.

La rigidez por piso debe ser ingresada al programa en su respectiva casilla y en forma de vector con los valores de rigidez separadas por punto y coma (;) e ingresadas desde el piso superior hasta el piso inferior en ese orden. En la figura 55 se muestra los recuadros que deben ser llenados para realizar un análisis mediante el ingreso de rigidez por piso.

Figura 55. Recuadros habilitados para definir rigidez por piso de la estructura

2.1.4.5.2 Función sísmica.

Al momento de oprimir sobre ‘Función Sísmica’ se despliegan tres opciones, las cuales son:

- Registro Histórico
- Espectro de Respuesta
- Espectro de Diseño NEC

La función sísmica es de gran relevancia para el análisis de la estructura impuesta ya que esta será la que afecte de una manera específica a la estructura impuesta por la geometría definida. En la figura 56 se aprecia las distintas opciones que se despliegan del sub menú de ‘Función Sísmica’.

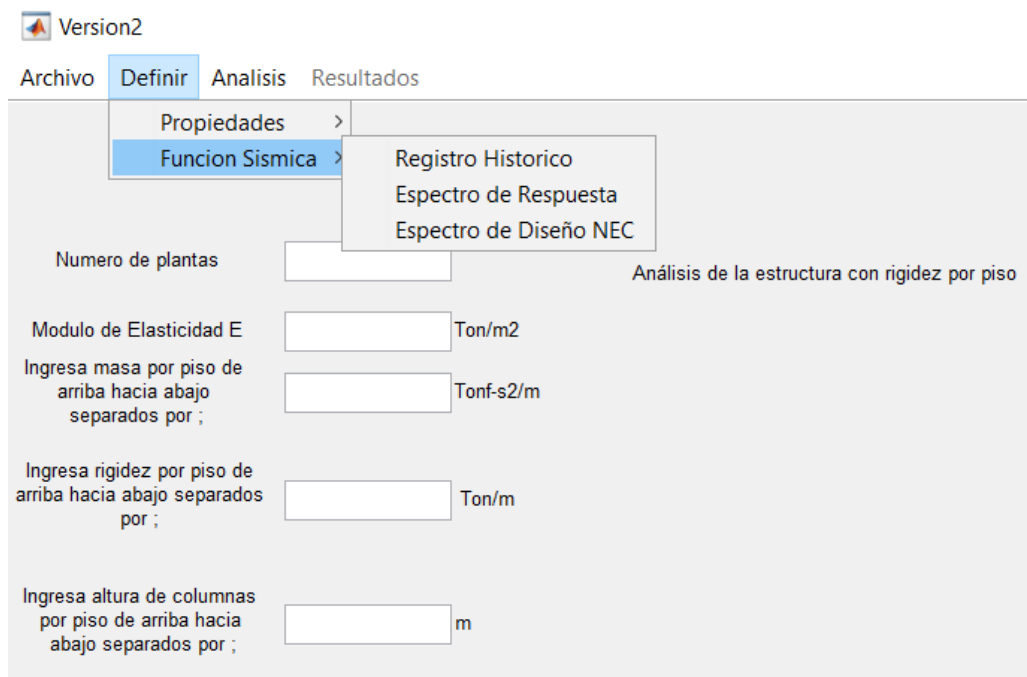


Figura 56. Sub menú Función Sísmica

Una vez que se haya elegido cualquier opción del menú de ‘Función Sísmica’, automáticamente se desplegará un texto debajo del texto obtenido por la definición de propiedades el cual contendrá cualquiera de los siguientes textos respectivamente acordes a las opciones mencionadas previamente:

- “mediante registro histórico de aceleraciones.”
- “mediante espectro de aceleraciones.”
- “mediante espectro de diseño NEC.”

Al momento de activarse los dos cuadros de texto para propiedades y función sísmica el programa sabrá que caso debe correr mediante cualquier tipo de análisis que se requiere por el usuario.

2.1.4.5.2.1 Registro histórico.

Al seleccionar ‘Registro Histórico’ como opción se determina la segunda parte de un tipo de caso para que el programa sepa que caso es el que va analizar a futuro, como ya se ha mencionado antes, los posibles casos a ser corridos por el programa se encuentran anexados al final del documento en el apéndice A.

Esta opción de igual forma modifica las características de la interfaz creando nuevos recuadros de texto los cuales deben ser llenados de manera estricta tomando en cuenta siempre las unidades requeridas dentro de cada recuadro editable y lógicamente las unidades en las que se encuentre el registro imponerse.

Los recuadros desplegados comprenden ahora de un botón el cual cambiará de acción de acuerdo al caso de función sísmica que se haya elegido y un menú desplegable el cual ayudará a determinar las unidades del registro que sea ingresado, el resto de recuadros mostrados son de carácter editable y deberán ser llenados de acuerdo al registro que se haya impuesto. En la figura 57 se logra apreciar los recuadros nuevos que se despliegan al momento de seleccionar esta opción.

The screenshot shows a software interface with the following elements:

- A button labeled "Buscar Registro de Aceleraciones" (Search Acceleration Record).
- A text input field for file selection.
- A dropdown menu for "Unidades del registro" (Record units) with "g" selected.
- An input field for "Ingresa el paso de tiempo del registro" (Enter the time step of the record) with a unit "s" next to it.
- An input field for "Numero de filas a saltarse del registro" (Number of rows to skip from the record).
- An input field for "Numero de datos por fila del registro" (Number of data points per row of the record).
- An input field for "Ingresa amortiguamiento en porcentaje (e.g. 5)" (Enter damping in percentage).
- An input field for "Última fila Registro" (Last row of the record).
- An input field for "Ingresa periodo máximo de estructura para espectro" (Enter maximum period of structure for spectrum).
- A large empty rectangular area on the right side, likely a list or table for displaying search results.

Figura 57. Recuadros habilitados para ingresar un registro histórico de aceleraciones

Como una opción de los recuadros abiertos, el programa da la opción de ingresar un registro histórico de aceleraciones el cual al presionarlo, da la opción al usuario de buscar un registro de aceleraciones en su computador mediante un selector de archivos de extensión (*.txt) o (*.data), cabe mencionar que no se debe ingresar registros que se encuentren en formatos de Excel ya que el programa no se ha diseñado para leer este tipo de archivos como registro de aceleraciones.

Se puede observar de la figura 57 que se ha creado un recuadro de lista en la parte superior derecha; este recuadro ha sido impuesto para visualizar el registro impuesto por el usuario y que el usuario pueda visualizar este a la par que llena los datos en los campos requeridos para la función sísmica impuesta.

El programa tiene la opción de saltarse las primeras 'n' filas que hayan sido escritas en el registro para que el usuario le dé la fila correcta al programa desde la cual

se debe leer el registro de igual manera existe un recuadro en el cual el usuario deba imponer la última fila a ser leída del registro esto es importante si existiese más información en el registro impuesto para que el programa no lea estos campos los cuales no son requeridos para programa.

Existen otros campos como el de amortiguamiento de la estructura y el periodo máximo de la estructura para el cálculo del espectro de respuesta. Estos campos no funcionan para leer de manera correcta el registro. El campo de amortiguamiento estructural sirve para imponer el amortiguamiento de la estructura ingresada. Por otro lado, el campo de periodo máximo de la estructura para espectro funciona para el cálculo del espectro de respuesta a partir del registro histórico ingresado, este periodo será el limite hasta el cual se calculará el espectro de aceleraciones, velocidades y desplazamientos de la estructura los cuales podrán ser vistos desde el menú desplegable de resultados el cual será explicado más adelante.

2.1.4.5.2.2 Espectro de respuesta.

Al seleccionar ‘Espectro de Respuesta’ como opción se determina de igual forma la segunda parte de un tipo de caso para que el programa sepa que caso es el que va analizar a futuro, como ya se ha mencionado antes, los posibles casos a ser corridos por el programa se encuentran anexados al final del documento en el apéndice A.

Esta opción de igual forma modifica las características de la interfaz creando nuevos recuadros de texto los cuales deben ser llenados de manera estricta tomando en cuenta siempre las unidades requeridas dentro de cada recuadro editable y lógicamente las unidades en las que se encuentre el registro imponerse.

Los recuadros desplegados comprenden ahora de otro tipo de botón el cual cambiará de nombre a “Buscar Registro de Espectro” el cual al presionarlo desplegará un selector de archivos para buscar un registro de espectro de respuesta de aceleraciones.

Nuevamente se tiene el menú desplegable el cual ayudará a determinar las unidades del registro que se ha ingresado y el recuadro de lista para poder visualizar el archivo impuesto; el resto de recuadros mostrados son de carácter editable y deberán ser llenados de acuerdo al registro que se haya impuesto. En la figura 58 se logra apreciar los recuadros nuevos que se despliegan al momento de seleccionar esta opción.

The screenshot shows a software interface with the following elements:

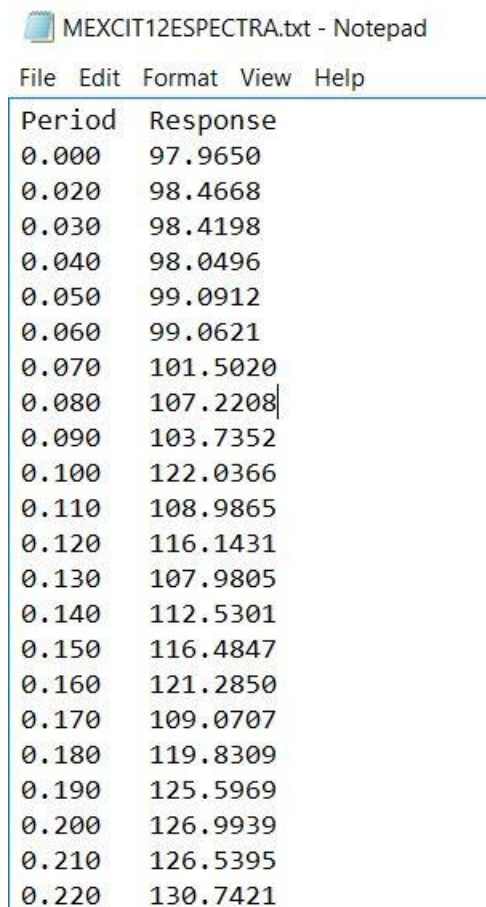
- A button labeled "Buscar Registro de Espectro" (Search Spectrum Record).
- A dropdown menu for "Unidades del registro" (Record units) with the value "g" selected.
- A large empty list box for displaying the selected record.
- An input field for "Numero de filas a saltarse del registro" (Number of rows to skip from the record).
- An input field for "Ingresa amortiguamiento en porcentaje (e.g. 5)" (Enter damping in percentage).
- An input field for "Última fila Registro" (Last record row).

Figura 58. Recuadros habilitados para imponer un registro de espectro de respuesta de aceleraciones

Se puede observar de la figura 58, que para el registro de espectro de respuesta ya no se pide el paso de tiempo del registro, esto se da ya que el programa se ha diseñado para que tome un registro de espectro con cualquier paso de tiempo variable y lo interpole a un periodo de 0.01 segundos.

Es de gran importancia mencionar que solo se espera un tipo de registro de espectro de respuesta el cual se debe componer por dos columnas como se aprecia en la

figura 59, la primera columna debe contener estrictamente el periodo del espectro y la segunda columna debe tener los valores del espectro correspondientes a cada periodo en el registro del archivo. El programa tiene la opción de saltarse las primeras 'n' filas que hayan sido escritas en el registro para que el usuario le dé la fila correcta al programa desde la cual se debe leer el registro. De igual manera existe el recuadro para marcar la última fila del registro la cual el programa deba leer en caso de que exista más campos dentro del archivo de lectura del registro de espectro.



Period	Response
0.000	97.9650
0.020	98.4668
0.030	98.4198
0.040	98.0496
0.050	99.0912
0.060	99.0621
0.070	101.5020
0.080	107.2208
0.090	103.7352
0.100	122.0366
0.110	108.9865
0.120	116.1431
0.130	107.9805
0.140	112.5301
0.150	116.4847
0.160	121.2850
0.170	109.0707
0.180	119.8309
0.190	125.5969
0.200	126.9939
0.210	126.5395
0.220	130.7421

Figura 59. Tipo de registro de espectro de aceleraciones esperado

2.1.4.5.2.3 *Espectro de diseño NEC.*

Al seleccionar ‘Espectro de Diseño NEC’ como opción se determina de igual forma la segunda parte de un tipo de caso para que el programa sepa que caso es el que va analizar a futuro, como ya se ha mencionado antes, los posibles casos a ser corridos por el programa se encuentran anexados al final del documento en el apéndice A.

Esta opción de igual forma modifica las características de la interfaz creando nuevos recuadros de texto los cuales deben ser llenados de manera.

Los recuadros desplegados comprenden ahora de otro tipo de botón el cual cambiará de nombre a “Calcular espectro de diseño” el cual debe ser presionado después de haber completado todos los campos requeridos debido a la opción ‘Espectro de Diseño NEC’, este botón calculará de forma rápida el espectro de diseño en base a la norma ecuatoriana de la construcción y desplegará de manera automática los valores calculados para de espectro de aceleración, espectro de velocidad y espectro de desplazamiento. Los cálculos se basan respecto a las ecuaciones brindadas por norma donde se han considerado únicamente rangos elásticos de respuestas estructurales, las ecuaciones 18, 19 y 20 han sido utilizadas para el cálculo de los espectros de aceleraciones, velocidades y desplazamientos respectivamente. De igual manera en la ventana de resultados se podrá apreciar la gráfica de cada espectro calculado incluso previo al análisis del caso a ser impuesto.

$$S_a = \begin{cases} \eta z F_a & 0 \leq T \leq T_c \\ \eta z F_a \left(\frac{T_c}{T}\right)^r & T \geq T_c \end{cases} \quad (18)$$

Donde, $T_c = 0.55 F_s \frac{F_d}{F_a}$

$$S_v = S_a \left(\frac{T}{2\pi}\right) \quad (19)$$

$$S_d = S_a \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 \quad (20)$$

El espectro de desplazamientos se acota en T_L donde,

$$T_L = 2.4 F_d$$

En la figura 60 se logra apreciar los recuadros nuevos que se despliegan al momento de seleccionar esta opción.

Calcular espectro de diseño

Unidades del registro

Ingresar el factor eta

Ingresar el factor z

Ingresar el factor Fa

Ingresar el factor Fs

Ingresar el factor Fd

Ingresar el factor r

Ingresar periodo máximo de estructura para espectro

Figura 60. Recuadros habilitados para imponer un espectro de diseño por NEC

Al momento de elegir la opción de ‘Espectro de Diseño NEC’ se puede observar de la figura 60 que existe el menú desplegable para unidades del registro sin embargo este ha sido inhabilitado por la razón de que los cálculos de espectros se realizan únicamente en unidades de la gravedad (g), el usuario si desea podrá exportar los datos obtenidos de espectros y manejarlos desde archivos de Excel, más adelante se hablará acerca de estas opciones.

El recuadro de amortiguamiento de la estructura en este caso se despliega en el lado izquierdo de la interfaz y debe ser llenado de manera obligatoria igualmente.

Los otros recuadros habilitados deben ser llenados en base a la NEC 2015 en su mayoría y se explican a continuación:

- Ingresar el factor eta: el factor η (eta) es la razón entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado, o para casos prácticos se puede adoptar:

- Para Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas) $\rightarrow \eta=1.80$
- Para Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos $\rightarrow \eta=2.48$
- Para Provincias del Oriente $\rightarrow \eta=2.60$

- Ingresar el factor z: el factor z es la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño y depende de la zona en donde se encuentre la estructura a ser modelada. En la figura 61 tomada de la NEC se aprecia el mapa de aceleraciones máximas en roca de norma de todo el Ecuador.

- Ingresar el factor F_a : el factor F_a es el coeficiente de amplificación de suelo en zona de periodo corto este depende del factor z y del tipo de suelo de la zona de la estructura. En la tabla 3 se muestra todos los posibles valores de F_a según NEC.
- Ingresar el factor F_s : el factor F_s es el coeficiente de amplificación de suelo y considera el comportamiento no lineal del suelo, este depende del factor z y del tipo de suelo de la zona de la estructura. En la tabla 4 se muestra todos los posibles valores de F_s según NEC.
- Ingresar el factor F_d : el factor F_d es el coeficiente de amplificación de suelo y amplifica las ordenadas del espectro elástico de desplazamientos, este depende del factor z y del tipo de suelo de la zona de la estructura. En la tabla 5 se muestra todos los posibles valores de F_d según NEC.
- Ingresar el factor r : es un factor de ubicación geográfico de la estructura y depende del tipo de suelo como se muestra a continuación:
 - Para todos los suelos (excepto suelo E) $\rightarrow r=1$
 - Para suelos tipo E $\rightarrow r=1.5$
- Ingresar el periodo máximo de estructura para espectro: permite ingresar el periodo máximo hasta el cual el usuario desea que se calcule el espectro de diseño es recomendable valores aproximados a 4 segundos.

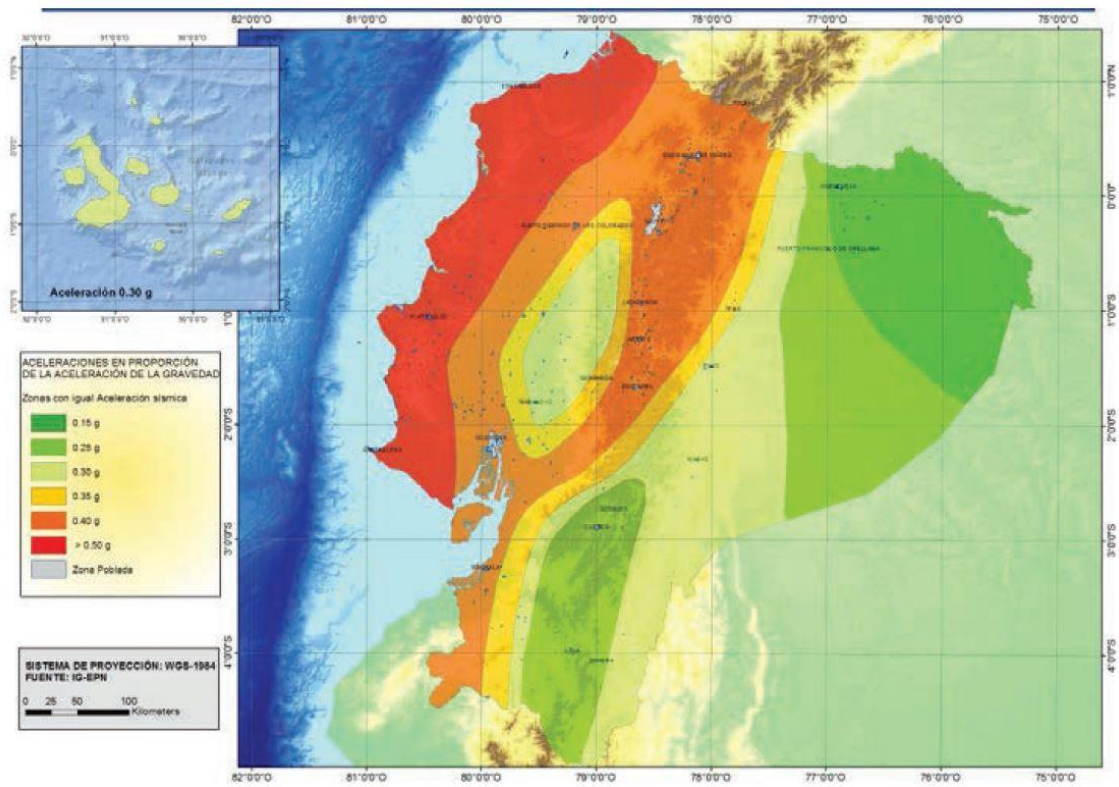


Figura 61. Mapa NEC de zonificación para aceleración máxima en roca de Ecuador (Obtenido de NEC 2015 Cap. 3)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tabla 3. Factor de sitio F_a obtenido de NEC (Obtenido de NEC 2015 Cap. 3)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 4. Factor de comportamiento inelástico F_s obtenido de NEC (Obtenido de NEC 2015 Cap. 3)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 5. Factor de sitio F_d obtenido de NEC (Obtenido de NEC 2015 Cap. 3)

Para mayores referencias se aconseja al usuario revisar la norma ecuatoriana de la construcción (NEC) para el uso de los datos proporcionados.

2.1.4.6 Análisis.

En la barra de menú como tercer ítem se encuentra ‘Análisis’, en este menú el usuario posee dos métodos por los cuales puede analizar la estructura ya previamente definida. Las dos opciones de métodos que puede elegir el usuario son las siguientes:

- Superposición Modal
- Análisis Modal Espectral

La selección de cualquiera de los dos métodos desplegará en la interfaz un botón el cual ha sido configurado para correr el análisis del modelo impuesto, haya sido este

por superposición modal o por análisis modal espectral, después de haber definido las propiedades y función sísmica para la estructura deseada.

En la figura 62 se aprecia las opciones dadas al momento de desplegar el menú ‘Análisis’.

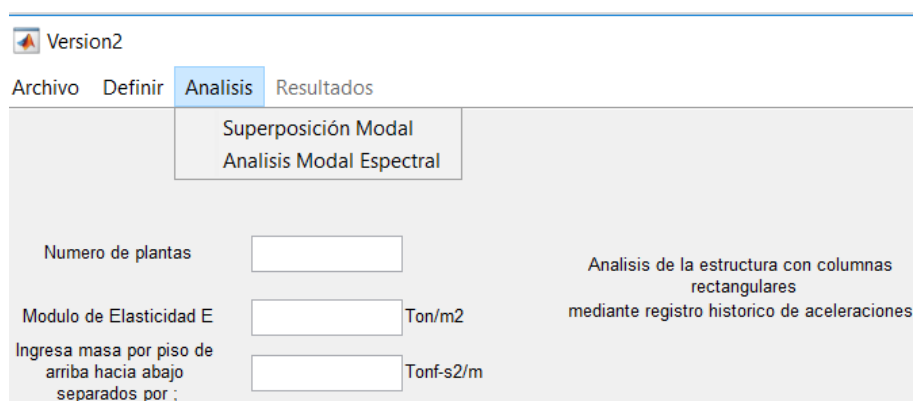


Figura 62. Menú Análisis

2.1.4.6.1 Superposición modal.

Al elegir la opción de superposición modal se crea un botón en la interfaz el cual determina el caso específico que el programa debe correr. El botón que debe aparecer se muestra en la figura 63. Como ya se ha mencionado anteriormente, todos los posibles casos para correr el análisis se encuentran anexados al final del documento en el apéndice A.

El botón creado debido a la opción elegida de superposición modal, al momento

de presionarlo este recopila todos los datos impuestos de la estructura, como las propiedades definidas y todos los datos impuesto de la función sísmica empleada, es por esta razón que es de suma importancia haber llenado todos los campos requerido por el programa antes de presionar el botón destinado para correr el análisis de la estructura deseada.

El programa después de oprimir el botón para correr el análisis habilita el menú de resultados y dos ventanas para graficar resultados, los resultados que se puedan obtener son discutidos en la sección 2.1.4.7.

El programa en este punto, aunque dependiendo del tipo de caso que se desee correr, si y solo si, se ha ingresado un registro de aceleraciones en el tiempo, el programa desplegará tres campos más en la interfaz.

El primer será un botón el cual permitirá al usuario reproducir una animación en las dos ventanas creadas debido a respuestas de desplazamientos en el tiempo de la estructura impuesta modelo mediante un eje de cortante y en la otra ventana se apreciará la manera en la que se produce el sismo mediante el acelerograma animado en el tiempo.

El segundo campo es un recuadro de revisión el cual le da la opción al usuario de grabar dicha animación si este lo desea, cabe recalcar que para grabar la animación este recuadro de revisión debe ser presionando anterior al botón que reproduce la animación, como resultado de la grabación se obtiene un video en formato MPEG-4 el cual captura toda la pantalla con los datos impuestos y la animación de la estructura.

Por último se encuentra el recuadro el cual pide al usuario ingresar el intervalo

de animación; ya que los registros impuestos suelen tener una gran cantidad de datos o el programa interpola a valores en el tiempo iguales o menores a 0.01 segundos lo cual genera una cantidad de la magnitud de los miles generalmente, se optó por dar la opción al usuario de saltarse valores de la respuesta en el tiempo a manera de intervalos, de tal forma que la animación no tenga una duración tan larga y tediosa para el usuario debido a la cantidad de procesamiento de datos que esto requiere. Para tener una referencia para un grupo de 8000 datos se podría aconsejar mantener intervalos de 50 datos.

Los campos mencionados se muestran en la figura 63 para una mejor apreciación de lo expuesto.

De la figura 63 también se observa la creación de un recuadro grande ubicado por debajo del recuadro utilizado para observar los registros impuestos. Este recuadro se ha impuesto para poder visualizar los resultados de tablas y matrices debido a la corrida del programa que se hablarán en la sección 2.1.4.7. referente a resultados.

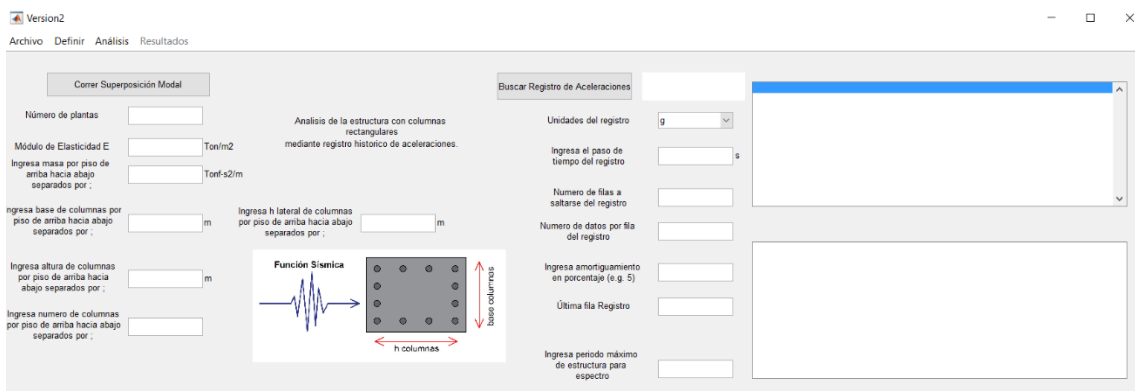


Figura 63. Recuadros habilitados al definir un análisis por el método de superposición modal

Al momento de haber presionado el botón de ‘Correr Superposición Modal’ el programa de igual manera se referirá al caso particular que se haya impuesto y desplegará una barra de espera mientras se ejecuta el análisis, si el programa se ha corrido con éxito debido a que se ha llenado todos los recuadros de manera correcta, este desplegará un recuadro el cual avise al usuario que el programa se ha ejecutado con éxito como se muestra en la figura 64.

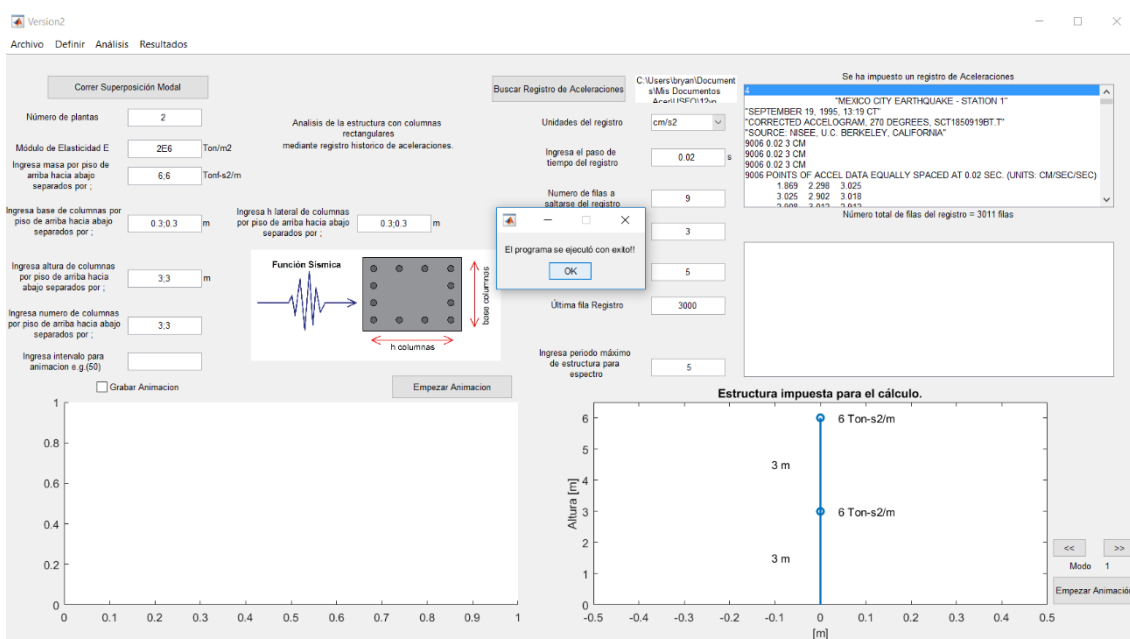


Figura 64. Recuadro de indicación que funcionó el análisis corrido

De la figura 64 se observa que se grafica la estructura impuesta por el usuario mediante un eje de cortante con las masas y alturas de columnas asignadas por el usuario para la estructura.

2.1.4.6.2 Análisis modal spectral.

Al elegir la opción de análisis modal espectral se crea un botón en la interfaz el

cual determina el caso específico que el programa debe correr. El botón que debe aparecer se muestra en la figura 65. Como ya se ha mencionado anteriormente, todos los posibles casos para correr el análisis se encuentran anexados al final del documento en el apéndice A.

El botón creado debido a la opción elegida de análisis modal espectral, al momento de presionarlo este recopila todos los datos impuestos de la estructura, como las propiedades definidas y todos los datos impuesto de la función sísmica empleada, es por esta razón que es de suma importancia haber llenado todos los campos requerido por el programa antes de presionar el botón destinado para correr el análisis de la estructura deseada.

El programa después de oprimir el botón para correr el análisis habilita el menú de resultados y dos ventanas para graficar resultados, los resultados que se puedan obtener son discutidos en la sección 2.1.4.7.

Al contrario de la superposición modal este no desplegara los tres recuadros extras para animación a pesar de que se ingrese un registro de aceleraciones, esto se debe a que el método de análisis modal espectral no es un método exacto el cual analiza respuestas en el tiempo sino que únicamente analiza las respuestas de desplazamientos y fuerzas máximas de la estructura mediante el método SRSS, que es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las repuestas máximas para cada modo de vibración de la estructura.

De la figura 65 también se observa la creación de un recuadro grande ubicado

por debajo del recuadro utilizado para observar los registros impuestos. Este recuadro se ha impuesto para poder visualizar los resultados de tablas y matrices debido a la corrida del programa que se hablarán en la sección 2.1.4.7. referente a resultados.

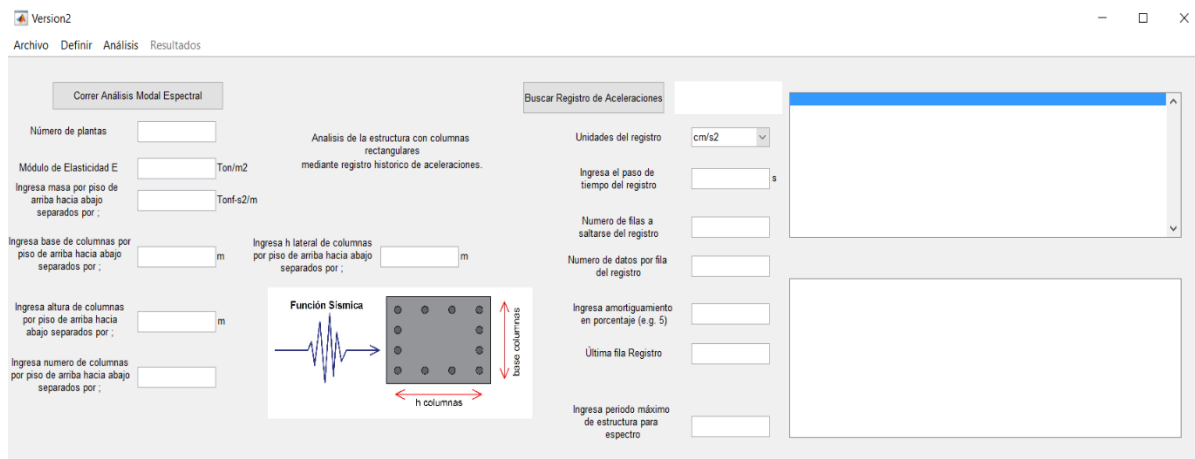


Figura 65. Recuadros habilitados al correr un análisis por el método de análisis modal espectral

Al momento de haber presionado el botón de ‘Correr Análisis Modal Espectral’ el programa de igual manera se referirá al caso particular que se haya impuesto y desplegará una barra de espera mientras se ejecuta el análisis, si el programa se ha corrido con éxito debido a que se ha llenado todos los recuadros de manera correcta, este desplegará un recuadro el cual avise al usuario que el programa se ha ejecutado con éxito como se muestra en la figura 64 de la anterior sección.

2.1.4.7 Resultados.

El menú de resultados se habilitará únicamente después de haber corrido el programa o ingresado un registro en el cual se habilitaría las opciones referentes a las gráficas y resultados calculados a partir del registro únicamente mas no de

desplazamientos, fuerzas o cualquier cálculo relativo a las propiedades de la estructura impuesta.

Una vez corrido el programa se puede apreciar los resultados respectivos a los cálculos realizados debido al análisis del caso impuesto. Las opciones de resultados a ser vistos por el usuario se muestran en la figura 66.

De la figura 66 se puede observar las opciones que el usuario puede visualizar de resultados que son las siguientes:

- Gráficos
- Tablas
- Matrices
- Reportes

Cabe mencionar que en el caso de que se ingrese un registro de aceleraciones al momento de oprimir en resultados se leerá todo el registro impuesto y a partir de este generara los resultados para plotear el registro impuesto, de igual manera esta opción se encarga de calcular espectros de aceleración, espectro de velocidades y espectro de desplazamientos a partir del registro de aceleraciones impuesto.

Si se impone un registro de espectro de aceleración esta opción se encargará de calcular los espectros de velocidades y desplazamientos respecto al espectro de aceleraciones.



Figura 66. Menú resultados

2.1.4.7.1 Gráficos.

En esta opción se despliegan todas las opciones de gráficos como se detallan en la figura 67.

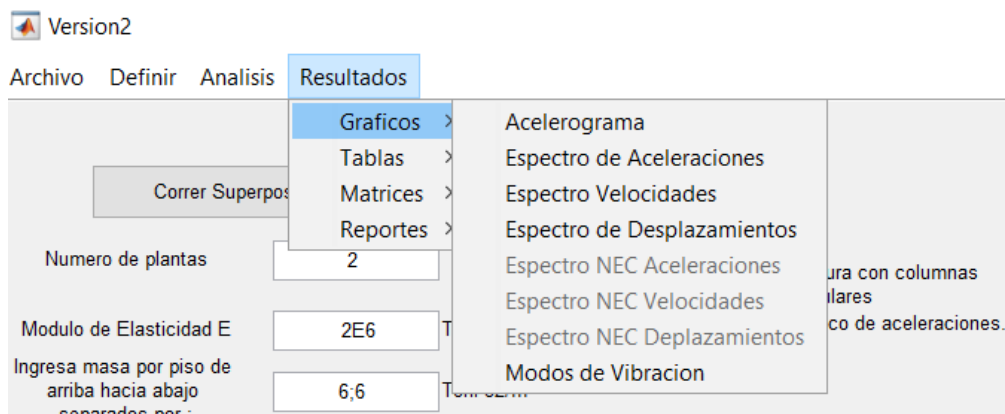


Figura 67. Sub menú de gráficos

2.1.4.7.1.1 Acelerograma.

Esta opción grafica los datos ingresados del registro de aceleraciones cuando se

elige la opción de ‘Registro Histórico’. Si la ventana de graficación no está activada, esta opción lo hará para graficar el acelerograma. La opción de acelerograma se activa al momento de ingresar el registro histórico de aceleraciones, es de suma importancia ingresar todos los datos pedidos para la lectura del registro sino se generará un error y no se graficará el acelerograma.

2.1.4.7.1.2 Espectro de aceleraciones.

Esta opción grafica los datos ingresados del registro de espectros ingresados mediante la opción de ‘Espectro de Respuesta’.

Esta opción se activa de igual manera al obtener un registro histórico ya que se calcula el espectro de aceleraciones a partir del registro histórico de aceleraciones y se pueda graficar la respuesta obtenida.

Si la ventana de graficación no está activada, esta opción lo hará para graficar el espectro de aceleraciones. La opción de espectro de aceleraciones se activa al momento de ingresar el registro histórico de aceleraciones o un espectro de respuesta de aceleraciones, es de suma importancia ingresar todos los datos pedidos para la lectura de cualquiera de los dos registros sino se generará un error y no se graficará el espectro.

2.1.4.7.1.3 Espectro de velocidades.

Esta opción grafica el pseudo espectro de velocidades calculado a partir del espectro de aceleraciones ingresado o el espectro de aceleraciones calculado desde el registro de aceleraciones.

Esta opción se activa de igual manera al obtener un registro de espectro de

aceleración o registro histórico ya que se calcula el espectro de aceleraciones a partir del registro histórico y con esto el espectro de pseudo-velocidades pudiendo graficar la respuesta obtenida.

Si la ventana de graficación no está activada, esta opción lo hará para graficar el espectro de pseudo-velocidades. La opción de espectro de velocidades se activa al momento de ingresar el registro histórico de aceleraciones o un espectro de respuesta de aceleraciones, es de suma importancia ingresar todos los datos pedidos para la lectura de cualquiera de los dos registros sino se generará un error y no se graficará el espectro.

2.1.4.7.1.4 Espectro de desplazamientos.

Esta opción grafica el espectro de pseudo desplazamientos calculado a partir del espectro de aceleraciones ingresado o el espectro de aceleraciones calculado desde el registro de aceleraciones.

Esta opción se activa de igual manera al obtener un registro de espectro de aceleración o registro histórico ya que se calcula el espectro de aceleraciones a partir del registro histórico y con esto el espectro de pseudo desplazamientos pudiendo graficar la respuesta obtenida.

Si la ventana de graficación no está activada, esta opción lo hará para graficar el espectro de pseudo desplazamientos. La opción de espectro de desplazamiento se activa al momento de ingresar el registro histórico de aceleraciones o un espectro de respuesta de aceleraciones, es de suma importancia ingresar todos los datos pedidos para la lectura de cualquiera de los dos registros sino se generará un error y no se graficará el espectro.

2.1.4.7.1.5 Espectro de aceleraciones NEC.

Esta opción grafica el espectro de aceleraciones calculado a partir de los datos impuestos al momento de elegir la opción de espectro de diseño NEC mediante la ecuación 18 planteada en este documento.

Esta opción se activa al momento únicamente de elegir como opción de función sísmica el espectro de diseño NEC y al momento de correr el análisis o calcular el espectro de diseño.

Si la ventana de graficación no está activada, esta opción lo hará para graficar el espectro de diseño de aceleraciones NEC. Es de suma importancia ingresar todos los datos pedidos para el cálculo del espectro sino se generará un error y no se graficará el espectro.

2.1.4.7.1.6 Espectro de velocidades NEC.

Esta opción grafica el espectro de velocidades calculado a partir de los datos impuestos al momento de elegir la opción de espectro de diseño NEC mediante la ecuación 19 planteada en este documento.

Esta opción se activa al momento únicamente de elegir como opción de función sísmica el espectro de diseño NEC y al momento de correr el análisis o calcular el espectro de diseño como mencionado en la sección 2.4.5.2.3.

Si la ventana de graficación no está activada, esta opción lo hará para graficar el espectro de diseño de velocidades NEC. Es de suma importancia ingresar todos los datos pedidos para el cálculo del espectro sino se generará un error y no se graficará el

espectro.

2.1.4.7.1.7 Espectro de desplazamientos NEC.

Esta opción grafica el espectro de desplazamientos calculado a partir de los datos impuestos al momento de elegir la opción de espectro de diseño NEC mediante la ecuación 20 planteada en este documento.

Esta opción se activa al momento únicamente de elegir como opción de función sísmica el espectro de diseño NEC y al momento de correr el análisis o calcular el espectro de diseño como mencionado en la sección 2.4.5.2.3.

Si la ventana de graficación no está activada, esta opción lo hará para graficar el espectro de diseño de desplazamientos NEC. Es de suma importancia ingresar todos los datos pedidos para el cálculo del espectro sino se generará un error y no se graficará el espectro.

2.1.4.7.1.8 Modos de vibración.

Esta opción grafica los modos de vibración de la estructura con su respectivo periodo estructural. Al momento de oprimir esta opción se generará un cuadro de dialogo el cual pedirá al usuario qué modo de vibración de la estructura es el que desea graficar como se aprecia en la figura 68.

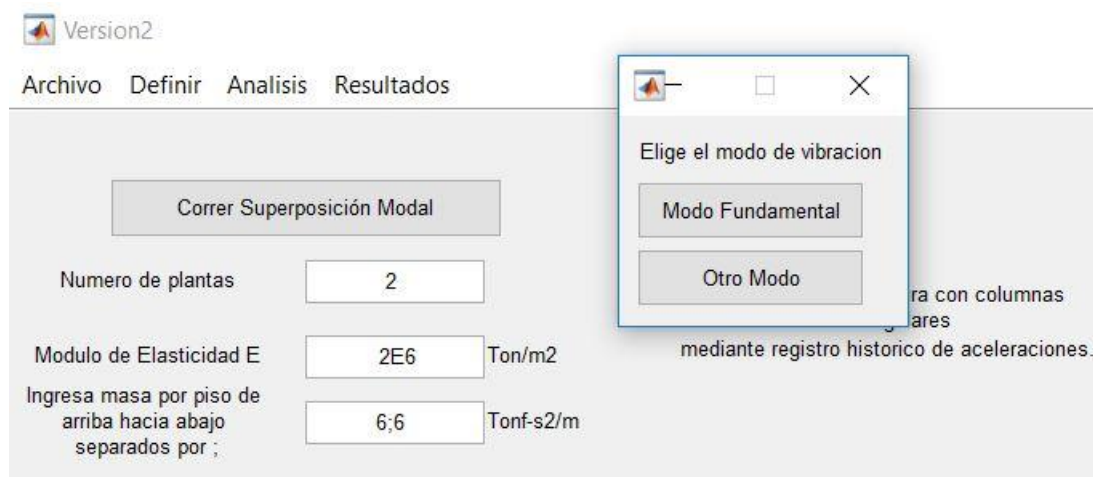


Figura 68. Cuadro de dialogo desplegado al momento de elegir modo de vibración

Si el usuario elige la opción de modo fundamental, se graficará automáticamente el primer modo fundamental de vibración de la estructura, si el usuario decide graficar otro modo, dependiendo del número grados de libertad de la estructura en el eje de cortante, la interfaz desplegará otro cuadro de dialogo preguntando cual es el modo de vibración que el usuario desea graficar, si el número que elige el usuario es mayor al número de GDL se abrirá un recuadro de error, ya que existen únicamente tantos modos como GDL de la estructura, de lo contrario si el usuario ingresa un modo correspondiente a la estructura este graficará el modo deseado por el usuario.

Los modos se grafican mediante la representación del modelo de eje de cortante y alado de cada masa en la gráfica se encuentra descrito el modo de vibración por piso de la estructura calculado a partir del análisis realizado de la estructura.

2.1.4.7.2 Tablas.

En esta opción se despliegan todas las opciones de tablas que puede generar el

programa a partir de los resultados del análisis y funciones sísmicas impuestas como se detallan en la figura 69.

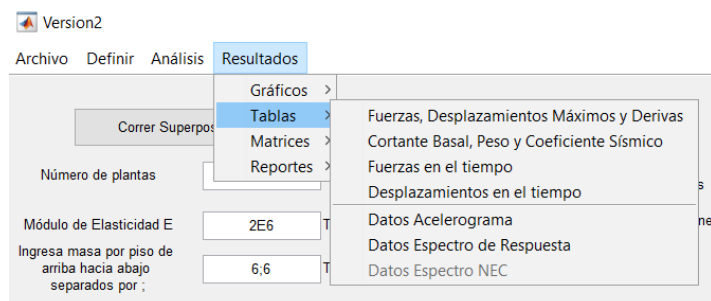


Figura 69. Sub menú Tablas

2.1.4.7.2.1 Fuerzas, desplazamientos máximos y Derivas.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido el análisis del programa y será válida para todos los casos posibles anexados al final de este documento en el apéndice A.

Esta opción recopila los resultados del análisis realizado de fuerza máximas, desplazamientos máximos y derivas por piso en porcentaje de la estructura impuesta y los muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Los resultados generados en el recuadro se encuentran asignados por piso de la estructura y estos pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.2.2 Cortante basal, peso y coeficiente sísmico.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido el análisis del

programa y será válida para todos los casos posibles anexados al final de este documento en el apéndice A.

Esta opción recopila los resultados del análisis realizado del cortante basal que sufre la estructura, conjunto con el peso total de la estructura y el coeficiente sísmico el cual suele ser menor a 1 por lo general salvo imposiciones de sismos de gran magnitud. Los resultados se los muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

El resultado puede ser exportado a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.2.3 Fuerzas en el tiempo.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido un análisis con registro histórico de aceleraciones.

Esta opción recopila los resultados del análisis realizado de fuerza en el tiempo del registro impuesto de aceleraciones y los muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Los resultados generados en el recuadro se encuentran asignados por piso y periodo al cual pertenece cada fuerza que experimenta la estructura y estos pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.2.4 Desplazamientos en el tiempo.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido un análisis con registro histórico de aceleraciones.

Esta opción recopila los resultados del análisis realizado de desplazamientos en el tiempo del registro impuesto de aceleraciones y los muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Los resultados generados en el recuadro se encuentran asignados por piso y periodo al cual pertenece cada desplazamiento que experimenta la estructura y estos pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.2.5 Datos acelerograma.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido un análisis con registro histórico de aceleraciones.

Esta opción recopila los datos del registro impuesto de aceleraciones, los acomoda en un solo vector y los muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Los resultados generados en el recuadro pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.2.6 Datos espectro de respuesta.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido un análisis con

registro histórico de aceleraciones o registro de espectro de aceleraciones.

Esta opción recopila los datos del registro impuesto de espectro de aceleraciones, los acomoda en un solo vector y conjunto con los espectros de velocidad y desplazamientos calculados al oprimir resultados los muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Si se ha ingresado un registro de aceleraciones esta opción mostrará los valores calculados de pseudo-espectros de aceleraciones, pseudo-velocidades y pseudo-desplazamientos, a partir de este al momento de haber oprimido resultados.

Los resultados generados en el recuadro pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.2.7 Datos espectro NEC.

Esta opción se habilitará únicamente después de, haber corrido un análisis con espectro de diseño NEC, o haber calculado un espectro de diseño mediante el botón habilitado al momento de haber elegido como función sísmica ‘mediante espectro de diseño NEC’.

Esta opción recopila los datos calculados del espectro de diseño NEC ya sea por cualquiera de las dos opciones mencionadas anteriormente y los muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Como resultado se muestra los valores del espectro de aceleración calculado en unidades de g, el espectro de velocidades calculado en cm/s y el espectro de

desplazamientos calculado en cm.

Los resultados generados en el recuadro pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.3 *Matrices.*

En esta opción se despliegan todas las opciones de resultados de matrices, eigen valores, periodos y frecuencias naturales que puede generar el programa a partir de los resultados del análisis como se detallan en la figura 70.

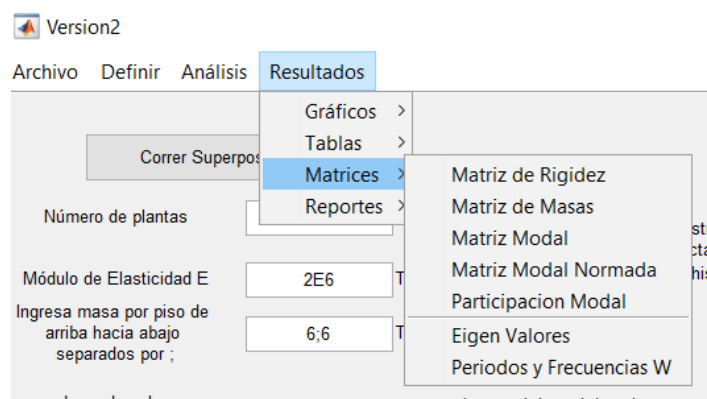


Figura 70. Sub menú Matrices

2.1.4.7.3.1 *Matriz de rigidez.*

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido el análisis del programa y será válida para todos los casos posibles anexados al final de este documento en el apéndice A.

Esta opción recopila el resultado de la matriz de rigidez calculada en el programa y lo muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Los resultados generados en el recuadro se encuentran asignados por los desplazamientos unitarios por piso para la construcción de la matriz y estos pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.3.2 Matriz de masas.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido el análisis del programa y será válida para todos los casos posibles anexados al final de este documento en el apéndice A.

Esta opción recopila el resultado de la matriz de masas calculada en el programa y lo muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Los resultados generados en el recuadro se encuentran asignados por las masas por piso para la construcción de la matriz y estos pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.3.3 Matriz Modal.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido el análisis del programa y será válida para todos los casos posibles anexados al final de este documento en el apéndice A.

Esta opción recopila el resultado de la matriz modal calculada en el programa a partir de la solución ‘eigen’ después de haber calculado la matriz de masas y rigidez. Los valores mostrados de los vectores modales han sido ordenados de manera

automática tal que el modo fundamental se encuentre siempre como el primer vector modal dentro de la matriz modal. Este resultado se lo muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Los resultados generados en el recuadro se encuentran asignados por los modos por piso para la construcción de la matriz y estos pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.3.4 Matriz modal normada.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido el análisis del programa y será válida para todos los casos posibles anexados al final de este documento en el apéndice A.

Esta opción recopila el resultado de la matriz modal normada calculada en el programa a partir de la matriz modal dividiendo cada vector modal para su valor mínimo dentro de cada vector modal, este resultado se lo muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Los resultados generados en el recuadro se encuentran asignados por los modos por piso para la construcción de la matriz y estos pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.3.5 Participación modal.

Esta opción calcula la masa modal efectiva mediante la ecuación 14 mostrada en la sección de métodos de cálculo al principio de este documento. Como mencionado antes la masa modal efectiva es la fracción de masa que se activa dependiendo del modo

de vibración que afecte a la estructura. Por lo general esto se lo realiza para tener una participación modal acumulada la cual le diga al usuario a partir de qué modo se podría despreciar los efectos del mismo ya que no serían de gran relevancia para el cálculo frente a la sollicitación sísmica.

2.1.4.7.3.6 *Eigen valores.*

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido el análisis del programa y será válida para todos los casos posibles anexados al final de este documento en el apéndice A.

Esta opción recopila el resultado de los ‘valores eigen’ calculados en el programa a partir de la solución ‘eigen’ después de haber calculado la matriz de masas y rigidez, este resultado se lo muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

La solución del problema de valores propios (o eigen valores) se ha efectuado mediante un comando de MATLAB como se muestra a continuación.

$$[Eigen\ Vectores, Eigen\ Valores] = eig(A)$$

Donde, $A = [K]^{-1}[m]$

El resultado para los ‘eigen valores’ tienen la siguiente forma

$$Eigen\ Valores = \frac{1}{\omega^2}$$

Los resultados generados en el recuadro se encuentran asignados por piso para la construcción de la matriz y estos pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.3.7 Periodos y frecuencias W.

Esta opción se habilitará únicamente después de haber corrido el análisis del programa y será válida para todos los casos posibles anexados al final de este documento en el apéndice A.

Esta opción recopila los resultados de los valores de periodos y frecuencias naturales circulares calculados en el programa a partir de la solución ‘eigen’ mencionada anteriormente, este resultado se lo muestra en el cuadro de tablas creado por debajo del recuadro de visualización de registros impuestos.

Los resultados generados en el recuadro se encuentran ordenados de menor a mayor para las frecuencias W y de mayor a menor para los periodos estructurales, estos se encuentran asignados para cada modo de vibración y estos pueden ser exportados a un archivo de Excel o de texto para cualquier uso que desee el usuario a futuro.

2.1.4.7.4 Reportes.

En el programa se ha creado la opción de generar reportes de los cálculos realizados después de correr el análisis de la estructura impuesta. Existen dos tipos de reportes los cuales se pueden generar, un generado en WORD y otro generado en PDF, ambos tipos reporte contienen exactamente las mismas características y resultados, se ha

creado esta doble opción solamente para que el usuario pueda elegir un reporte con el cual satisfaga las necesidades del mismo. En la figura 71 se logra apreciar las opciones mencionadas al oprimir en reportes.

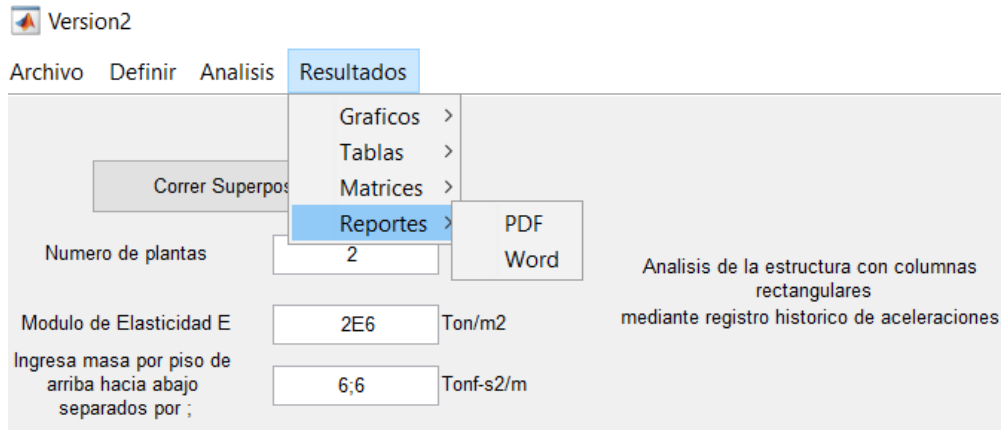


Figura 71. Sub menú Reportes

Los dos ejemplos de reporte serán anexados en digital con este documento.

Capítulo 3

3.1 Conclusiones y futuras líneas de trabajo

3.1.1 Conclusiones.

3.1.1.1 *Sobre los métodos utilizados.*

Los métodos de superposición modal y análisis modal espectral han demostrado su eficacia, como métodos aproximados de respuestas reales de estructuras.

Se ha visto que no se comete error en el modelamiento de estructuras mediante ejes de cortante para la obtención de respuestas laterales de desplazamientos y fuerzas que experimenta la estructura durante un evento sísmico.

Se recomienda utilizar el método de superposición modal para análisis de una estructura cuando se ingrese un registro histórico de aceleraciones, ya que este es más exacto y puede dar resultados en el tiempo de las respuestas de la estructura frente al estímulo sísmico mencionado. Por otro lado, se recomienda utilizar el método de análisis modal espectral cuando se ingrese cualquier tipo espectro de aceleraciones o espectro de diseño de aceleraciones calculado mediante la norma ecuatoriana de la construcción.

3.1.1.2 *Sobre el programa.*

El programa realizado es una herramienta útil para un cálculo rápido y eficiente para obtener respuestas de estructuras frente a sollicitaciones sísmicas.

Se ha demostrado que la aplicación es bastante amplia ya que ha sido creada para cualquier tipo de estructura la cual se pueda modelar a través de un eje de cortante.

Se concluye que el programa es de fácil uso y cualquier persona podría manejarlo sin mayor complicación gracias a la interfaz gráfica creada para la interacción con el usuario.

El usuario mediante el programa se encuentra en la capacidad de obtener todas las respuestas del análisis realizado por el mismo, dando así la facilidad al usuario de manejar los resultados a su conveniencia. De igual manera el programa brinda la facilidad de generar reportes con la mayoría de resultados del análisis a manera de informe lo cual puede ser de gran utilidad para el usuario.

3.1.2 Futuras líneas de trabajo.

3.1.2.1 Sobre los métodos utilizados.

Los métodos de superposición modal y análisis modal espectral se encuentran de acuerdo a ecuaciones de movimiento que consideran únicamente amortiguamientos viscosos, estos modelos de movimiento dinámico pueden ser aproximados de otras maneras en las cuales se tengan otros tipos de amortiguamientos.

Los métodos utilizados únicamente consideran respuestas de las estructuras en el campo elástico. Esto se puede mejorar si se ingresa un análisis mediante métodos inelásticos para calcular las respuestas de la estructura impuesta.

De igual manera, a futuro se podría modelar la estructura mediante métodos

distintos al eje de cortante y de esta manera tomar en cuenta de igual forma estructuras ya en 3 dimensiones de las cuales se pueda determinar los efectos de torsión en planta en el tiempo debidos a geometría en planta y en elevación de la estructura frente a una sollicitación sísmica.

3.1.2.2 Sobre el programa.

El programa tiene un código abierto para poder ser modificado por cualquier persona la cual desee contribuir en este.

El análisis realizado por el programa se limita únicamente a sistemas dinámicos dentro del rango elástico. Es una opción a futuro implementar un análisis el cual también tome en consideración el rango inelástico de las estructuras y realizar posiblemente otras opciones de análisis para el usuario.

El programa se ha realizado con el fin de que cada función ingresada sea independiente de cualquier otra para que se pueda modificar específicamente cualquier código de análisis que corre el programa sin necesidad de dañar el resto de códigos existentes.

El código se podría mejorar al ingresar una mayor cantidad de opciones de sistemas de unidades para el cálculo ya que este únicamente se limita a toneladas, metros y segundos.

Matlab tiene opciones de graficar en 3 dimensiones. Si se desea a futuro se podría modelar estructuras reales en 3 dimensiones, en donde el usuario tenga la opción de generar esta estructura mediante el ingreso de datos en la interfaz gráfica creada de igual

manera. Esto permitiría otros tipos de análisis como torsión en planta entre otros.

Apéndice A

4.1 Anexo 1

4.1.1 Opciones de análisis.

Combinación	POSIBLES COMBINACIONES DEL PROGRAMA									
	PROPIEDADES				FUNCIÓN SÍSMICA				ANÁLISIS	
	Columnas Rectangulares	Columnas Circulares	Ingresar Rigidez por piso	Registro Histórico	Espectro de Respuesta	Espectro de Diseño NEC	Superposición Modal	Análisis Modal Espectral		
1	X			X			X			
2	X			X				X		
3	X				X			X		
4	X					X		X		
5		X		X			X			
6		X		X				X		
7		X			X			X		
8		X				X		X		
9			X	X			X			
10			X	X				X		
11			X		X			X		
12			X			X		X		

Tabla 6. Combinaciones a correr del programa

4.2 Anexo 2

4.2.1 Link para descarga de programa.

[http://download949.mediafire.com/345f556055sg/3h20tn8j1kstw5c/CSA2017.ra](http://download949.mediafire.com/345f556055sg/3h20tn8j1kstw5c/CSA2017.rar)

[r](#)

Bibliografía

García Reyes, L. E. (1998). *DINAMICA ESTRUCTURAL APLICADA AL DISEÑO SISMICO*. Bogotá: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.

Paz, M. (1992). Métodos numéricos con matlab (Vol.2). En M. Paz, *Dinámica estructural: teoría y cálculo*. Reverté: Prentice Hall.

Sánchez de la Rosa, J. L. (2001). *Nereida*. Obtenido de Matlab/Octave:

<http://nereida.deioc.ull.es/~pcgull/ihiu01/cdrom/matlab/contenido/matlab.html>

USGS. (27 de Junio de 2016). *ShakeMap*. Obtenido de Earthquake Hazard Program:

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#shakemap>

Wikimedia. (2 de Febrero de 2016). *Wikimedia Commons*. Obtenido de Tsunami travel time Valdivia 1960:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tsunami_travel_time_Valdivia_1960.jpg

Wikipedia. (2016). *Wikipedia*. Obtenido de Terremoto:

<https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto>

Wikipedia. (17 de Abril de 2016). *Wikipedia*. Obtenido de Terremoto de Ecuador de 2016:

https://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Ecuador_de_2016#/media/File:Ecuador_location_map.svg

Wikipedia. (1 de mayo de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de Terremotos en Chile:

https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Chile#Lista_de_terremotos

Wikipedia. (4 de mayo de 2017). *Wikipedia*. Obtenido de Terremotos en Ecuador:

https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Terremotos_en_Ecuador