



**FACULTAD DE POSTGRADO  
TESIS DE POSTGRADO**

**RESPUESTA DINÁMICA DE EDIFICIOS DE CONCRETO  
SOBRE UN DEPÓSITO DE SUELO TIPO S4 EN HONDURAS**

**SUSTENTADO POR:**

**EDGARDO ROBERTO ÁVILA MENDOZA  
LESTER FABRICIO CASTILLO LARA**

**PARA INVESTIDURA AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN  
INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS**

**TEGUCIGALPA M.D.C., F.M., HONDURAS C. A.  
JULIO, 2018**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**MARLON ANTONIO BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

**DESIRE TEJADA CALVO**

**DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO**

**CLAUDIA MARÍA CASTRO VALLE**

**RESPUESTA DINÁMICA DE EDIFICIOS DE CONCRETO  
SOBRE UN DEPÓSITO DE SUELO TIPO S4 EN HONDURAS**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN  
INGENIERÍA DE ESTRUCTURAS**

**ASESOR METODOLÓGICO  
CARLOS AUGUSTO ZELAYA OVIEDO**

**ASESOR TEMÁTICO  
RENÉ ANDRÉS GIRÓN VARGAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN EVALUADORA:  
MINA CECILIA GARCÍA LEZCANO  
FREDY ANTONIO VIDES ROMERO**



## **FACULTAD DE POSTGRADO**

# **RESPUESTA DINÁMICA DE EDIFICIOS DE CONCRETO SOBRE UN DEPÓSITO DE SUELO TIPO S4 EN HONDURAS**

### **NOMBRES DE MAESTRANTES:**

**EDGARDO ROBERTO ÁVILA MENDOZA**

**LESTER FABRICIO CASTILLO LARA**

### **Resumen**

El presente documento proporciona la guía metodológica a seguir para la evaluación de un edificio de concreto reforzado aplicando el análisis dinámico tiempo-historia utilizando un programa de análisis y diseño estructural. Se buscaron registros de aceleración correspondientes a un suelo tipo S4 para la aplicación del método tiempo-historia. De manera paralela se aplicó el método modal espectral descrito en el CHOC-08 y se compararon las derivas provenientes de la aplicación de las diferentes metodologías. Se encontró aplicabilidad del método tiempo historia y proporcionan recomendaciones sobre el trato de una estructura de concreto sobre un suelo tipo S4. Con la aplicación del método tiempo historia en la presente investigación, se procedió a elaborar una guía para su aplicación haciendo uso de herramientas electrónicas.

Palabras clave: Análisis dinámico, concreto, diseño estructural, tiempo-historia, respuesta dinámica



**FACULTAD DE POSTGRADO**

**DYNAMIC RESPONSE OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS OVER A TYPE**

**S4 SOIL IN HONDURAS**

**AUTHORS:**

**EDGARDO ROBERTO ÁVILA MENDOZA**

**LESTER FABRICIO CASTILLO LARA**

**Abstract**

The present document proposes the methodological guide to be followed for the evaluation of a reinforced concrete building through the time history analysis, using a structural program for analysis and design. Acceleration records corresponding to type S4 soil were sought for the application of the time history analysis. In parallel, the spectral modal method described in CHOC-08 was applied and the drifts derived from the application of the different methodologies were compared. Applicability of the time history method was found and recommendations over the study of concrete structure over a type S4 soil was given. With the application of the time history method in the present research a guide for it application was developed with the help of electronic tools.

Key words: Dynamic analysis, concrete, structural design, time-history, dynamic response

## **DEDICATORIA**

A Dios, que ha sido esa luz que ha guiado nuestro camino y nos ha dado la fortaleza para poder cumplir con todos nuestros sueños y metas.

A nuestros padres: Miguel Edgardo Ávila Cruz y Demetrio Castillo Rubio que han sido ejemplo de baluartes para la sociedad y por habernos dado su apoyo incondicional a lo largo de todo este recorrido.

A nuestras madres: Mirna Xiomara Mendoza Aguilar y Ludis Berlinda Lara Velásquez por la entrega y el amor inagotable que nos han dado que nos ha permitido creer que cualquier sueño es posible de lograr.

A María Eugenia Jiménez Jeréz y su familia, que han sido un apoyo moral y espiritual que me ha motivado a seguir adelante siempre.

A nuestras familias que han estado presente en esta etapa de nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTOS**

De manera especial agradecemos a la Universidad Tecnológica Centroamericana, al cuerpo docente y personal administrativo que con mucho esmero han plasmado en su trabajo amor y entrega para poder formar profesionales con valores que servirán a la sociedad.

Al Ingeniero René Andrés Girón Vargas que de manera desinteresada y con el mayor de los ánimos nos ha brindado un apoyo invaluable para el desarrollo del presente trabajo.

Al Doctor Carlos Augusto Zelaya Oviedo que nos ha ofrecido su tiempo y conocimiento para poder plasmar de manera adecuada nuestro trabajo

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Antecedentes del problema .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Definición del problema .....</b>	<b>2</b>
1.3.1 Enunciado .....	2
1.3.2 Planteamiento de problema.....	3
1.3.3 Preguntas de investigación.....	3
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>4</b>
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
<b>1.5 Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Análisis de la situación actual .....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Análisis de macroentorno .....	5
2.1.2 Análisis de microentorno .....	8
<b>2.2 Teorías.....</b>	<b>10</b>
2.2.1 Teorías de Sustento .....	10
2.2.2 Marco Conceptual.....	24
<b>2.3 Metodologías aplicadas.....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Método tiempo-historia.....	25
2.3.2 Método de espectro de respuesta .....	25
2.3.3 Método de elementos finitos (MEF).....	26
2.3.4 Diagrama de Ishikawa.....	26
<b>CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Congruencia metodológica.....</b>	<b>28</b>
3.1.1 Matriz Metodológica.....	28
3.1.2 Variables de estudio.....	29
3.1.3 Operacionalización de variables .....	30
<b>3.2 Enfoques y métodos de la investigación .....</b>	<b>32</b>

<b>3.3</b>	<b>Diseño de la investigación.....</b>	<b>33</b>
3.3.1	Población meta de estudio .....	34
3.3.2	Descripción de las muestras.....	34
3.3.3	Unidad de análisis .....	35
3.3.4	Unidad de respuesta .....	40
<b>3.4</b>	<b>Instrumento y técnicas aplicadas.....</b>	<b>40</b>
3.4.1	Instrumento .....	40
3.4.2	Técnicas .....	40
3.4.3	Procedimientos.....	41
<b>3.5</b>	<b>Fuentes de información .....</b>	<b>44</b>
3.5.1	Fuentes primarias .....	44
3.5.2	Fuentes secundarias .....	44
3.5.3	Limitantes del estudio .....	44
	<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Resultados de la encuesta .....</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Resultados de observaciones de modelos matemáticos.....</b>	<b>55</b>
4.2.1	Resultados para modelos matemáticos de 5 niveles .....	55
4.2.2	Resultados para modelos matemáticos de 10 niveles .....	72
<b>4.3</b>	<b>Diagrama de Ishikawa (efecto positivo).....</b>	<b>89</b>
<b>4.4</b>	<b>Análisis estadístico e interpretación de resultados .....</b>	<b>91</b>
<b>4.5</b>	<b>Propuesta .....</b>	<b>93</b>
4.5.1	Guía técnica para la aplicación del análisis tiempo historia .....	93
4.5.2	Introducción .....	93
4.5.3	Descripción de propuesta .....	94
4.5.4	Presupuesto .....	112
4.5.5	Cronograma de ejecución .....	113
	<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>114</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>114</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>115</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz Metodológica.....	28
Tabla 2. Operacionalización de variables. ....	30
Tabla 3. Propiedades de los materiales .....	40
Tabla 4. Parámetros para espectro de respuesta.....	42
Tabla 5. Parámetros para registro de acelerograma. ....	43
Tabla 6. Métodos aplicados para el diseño por sismo. ....	46
Tabla 7. Métodos dinámicos aplicados. ....	47
Tabla 8. Conocimiento sobre caracterización del suelo.....	48
Tabla 9. Aplicación de espectro de respuesta. ....	49
Tabla 10. Aplicación del análisis tiempo-historia.....	51
Tabla 11. Factores que dificultan la aplicación del análisis tiempo-historia. ....	52
Tabla 12. Creación de red de sismógrafos. ....	53
Tabla 13. Guía técnica para la aplicación del análisis tiempo-historia.....	54
Tabla 14. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m, 5 niveles en dirección “x”.....	57
Tabla 15. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m, 5 niveles en dirección “y”.....	59
Tabla 16. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	61
Tabla 17. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	63
Tabla 18. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	65
Tabla 19. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	67
Tabla 20. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	69

Tabla 21. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	71
Tabla 22. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	73
Tabla 23. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	75
Tabla 24. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	77
Tabla 25. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	79
Tabla 26. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	81
Tabla 27. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	83
Tabla 28. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	85
Tabla 29. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo .....	87
Tabla 30. Resumen de los porcentajes de la variación de los desplazamientos de la media de los acelerogramas con respecto al espectro del CHOC-08 en dirección “x”.....	88
Tabla 31. Resumen de los porcentajes de la variación de los desplazamientos de la media de los acelerogramas con respecto al espectro del CHOC-08 en dirección “y”.....	88
Tabla 32. Comparación de diferencias de desplazamientos por nivel en sentido x.....	91
Tabla 33. Comparación de diferencias de desplazamientos por nivel en sentido y.....	91
Tabla 34. Comparación de diferencias de desplazamientos por nivel en sentido x.....	92
Tabla 35. Comparación de diferencias de desplazamientos por nivel en sentido y.....	92
Tabla 36. Parámetros para la búsqueda en la base de datos de movimiento de suelo de PEER...	97
Tabla 37. Tasa de masas participantes y periodos .....	111
Tabla 38. Presupuesto .....	112
Tabla 39. Cronograma de ejecución .....	113
Tabla 40. Concordancia de los segmentos de la tesis con la propuesta.....	116

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Edificio de diafragma rígido con tres grados de libertad por piso. ....	12
Figura 2. Gráfico del registro de aceleración del terreno $x_s(t)$ , como función dependiente del tiempo. ....	15
Figura 3. Explicación conceptual del análisis modal.....	21
Figura 4. Estructura de diagrama de Ishikawa.....	27
Figura 5. Esquema de Variables .....	29
Figura 6. Etapas de la Investigación .....	34
Figura 7. Planta de modelo 1 .....	36
Figura 8. Isométrico de modelo 1 .....	36
Figura 9. Planta de modelo 2 .....	36
Figura 10. Isométrico de modelo 2 .....	36
Figura 11. Planta de modelo 3 .....	37
Figura 12. Isométrico de modelo 3 .....	37
Figura 13. Planta de modelo 4 .....	37
Figura 14. Isométrico de modelo 4 .....	37
Figura 15. Planta de modelo 5 .....	38
Figura 16. Isométrico de modelo 5 .....	38
Figura 17. Planta de modelo 6 .....	38
Figura 18. Isométrico de modelo 6 .....	38
Figura 19. Planta de modelo 7 .....	39
Figura 20. Isométrico de modelo 7 .....	39
Figura 21. Planta de modelo 8 .....	39

Figura 22. Isométrico de modelo 8 .....	39
Figura 23. Espectro de respuesta elástica del CHOC-08 y espectro del sismo de Darfield, Nueva Zelanda.....	43
Figura 24. Resultados de la interrogante sobre métodos aplicados en el diseño por sismo. ....	47
Figura 25. Resultados de interrogante sobre aplicación de métodos dinámicos.....	48
Figura 26. Resultados de interrogante sobre conocimiento de las características del suelo tipo s4. ....	49
Figura 27. Resultados de interrogante sobre aplicación de análisis con espectro de respuesta....	50
Figura 28. Resultados de interrogante sobre aplicación de análisis tiempo-historia. ....	51
Figura 29. Resultados de interrogante sobre factores que dificultan la aplicación del análisis tiempo-historia. ....	52
Figura 30. Resultados de interrogante sobre la creación de red de sismógrafos. ....	53
Figura 31. Resultados de interrogante sobre creación de guía técnica para análisis tiempo-historia.....	54
Figura 32. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m, 5 niveles en dirección “x”.....	56
Figura 33. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m en dirección “y”. ....	58
Figura 34. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m en dirección “x”. ....	60
Figura 35. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m, 5 niveles en dirección “y”.....	62

Figura 36. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m en “x”.	64
Figura 37. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m en “y”.	66
Figura 38. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m en “x”.	68
Figura 39. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m en “y”.	70
Figura 40. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m en “x”.	72
Figura 41. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m en “y”.	74
Figura 42. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m en “x”.	76
Figura 43. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m en “y”.	78
Figura 44. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m en “x”.	80
Figura 45. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m en “y”.	82
Figura 46. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m en “x”.	84

Figura 47. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m en “y”.....	86
Figura 48. Diagrama de Ishikawa (efecto positivo).....	89
Figura 49. Búsqueda en la base de datos de la Universidad de California, Berkeley.....	96
Figura 50. Ejemplo de resultados de búsqueda en la base de datos de la Universidad de California, Berkeley.....	98
Figura 51. Botones de descarga de archivos.....	98
Figura 52. Pantalla principal del programa ETABS.....	99
Figura 53. Definición de la función “Tiempo-historia”.....	100
Figura 54. Pantalla para definir la función tiempo historia.....	101
Figura 55. Definición de parámetros para la función tiempo historia.....	102
Figura 56. Definición de casos de carga.....	103
Figura 57. Definición de caso de tiempo historia en el cuadro “Load Case Data”.....	105
Figura 58. Botón para definir funciones de ploteo nuevas.....	106
Figura 59. Funciones que se puede plotear según el tiempo.....	107
Figura 60. Datos del análisis que se pueden tabular.....	108
Figura 61. Modo de vibración 1.....	109
Figura 62. Modo de vibración 2.....	109
Figura 63. Modo de vibración 3.....	109
Figura 64. Modo vibración 4.....	109
Figura 65. Modo de vibración 5.....	110
Figura 66. Modo de vibración 6.....	110
Figura 67. Modo de vibración 7.....	110

Figura 68. Modo de vibración 8..... 110

# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta los aspectos que comprende el problema planteado, los antecedentes, su definición, los objetivos y justificación.

## 1.1 Introducción

Los eventos sísmicos son un fenómeno natural que nos han acompañado desde siempre y que inevitablemente nos seguirán acompañando en el futuro, esta afirmación tiene su base en que como es sabido la distribución de los sismos en el mundo no es igualitaria, existen lugares donde esos eventos se concentran más ya sea en cantidad como en intensidad, por fortuna en nuestro país no han ocurrido sismos catastróficos en tiempos actuales.

La importancia de la investigación de estructuras resistentes a los sismos tanto desde el punto de vista estructural como funcional, ya que presta un servicio directo a toda la población. Hasta el momento Honduras no ha sufrido los efectos de sismos de magnitud excepcional, por lo que los fundamentos de los procesos sísmicos y la comprobación del buen funcionamiento de los análisis empleados para modelar la respuesta de la estructura al movimiento del suelo es escaso.

La investigación presentada tiene como propósito mostrar si un análisis tiempo historia en un suelo tipo S4 descrito en el Código Hondureño de la Construcción (CHOC-08) es más efectivo que el análisis modal espectral presentado en dicho código con modelado de edificios con varias configuraciones y de ser así, facilitar una guía para ayudarle al diseñador a poder realizar este tipo de análisis. Se tomarán en cuenta los factores que afectan dicha relación y la magnitud en que lo hace. Dicha investigación proporcionará los modos de falla de la superestructura para que el diseñador estructural se pueda anticipar al comportamiento que pueda presentarse al momento de una falla conociendo dicho gradiente.

## **1.2 Antecedentes del problema**

Hasta la década de los noventa no existía en el país uniformidad en los criterios de análisis y diseños en la construcción por lo que se adoptaban reglamentos extranjeros, especialmente de Estados Unidos de América y dependía mucho del criterio de los diseñadores al momento de elegir los métodos. Poco a poco se fue creando la necesidad de unificar criterios por lo que se creó una comisión técnica dependiente del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras integrada por profesionales que poseen amplia experiencia y conocimientos en diseño y construcción.

A pesar de que se han hecho grandes esfuerzos de normar la construcción en el país fue hasta el año 2000 que se presentó los primeros lineamientos para efectuar los análisis estructurales y fue hasta el 2008 que se logró editar la primera edición del Código Hondureño de la Construcción (CHOC-08) donde se amplió con la parte de diseño, lo que representó un gran avance para unificar los criterios de análisis y diseño en el país. Se tenía previsto realizar actualizaciones periódicas, pero hasta el momento no se han realizado que serían de gran utilidad para aclarar algunos conceptos y profundizar en otros, logrando una mejor aplicación del reglamento.

## **1.3 Definición del problema**

### **1.3.1 Enunciado**

La información en el Código Hondureño de la Construcción es muy escasa en relación con los análisis dinámicos alternativos a los espectros de respuesta, donde el código sólo cita el análisis con acelerograma.

En el país se encuentran suelos de clasificación S4 según el CHOC-08 que complica el diseño de una estructura ya que sus características son adversas para un buen comportamiento estructural por lo que sería de ayuda verificar los resultados obtenidos con el método de respuesta

espectral y otro método alternativo para lograr un mejor criterio al momento de dar una solución estructural al proyecto.

La normativa nacional vigente indica:

“Un análisis con acelerogramas es un análisis de la respuesta dinámica de la estructura a cada incremento de tiempo, cuando la base es excitada por un acelerograma específico del movimiento del suelo” (Comisión Técnica ,2008, p. 2-34).

De lo anterior, es la única referencia que describe el método, no da lineamientos para su aplicación. Por lo tanto, resulta importante la existencia de un documento que pueda facilitar al proyectista en el proceso de diseño.

### **1.3.2 Planteamiento de problema**

Se carece de información para la aplicación del método de tiempo-historia ya que es muy general en la normativa del país y no existen recomendaciones específicas sobre el análisis de estructuras en suelos tipo S4.

### **1.3.3 Preguntas de investigación**

1. ¿Cuál es la alternativa más viable para modelar edificios en suelos de clasificación S4 y obtener resultados más confiables?
2. ¿Cuáles son los factores que más inciden en la respuesta dinámica de los edificios?
3. ¿Qué ventajas posee la aplicación del análisis tiempo-historia con respecto al método modal espectral?
4. ¿Existe alguna guía para el análisis tiempo historia normalizado en el país?

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Mostrar la aplicación del método tiempo-historia para el análisis dinámico de una estructura regular en un suelo tipo S4, mediante una guía técnica con recomendaciones en la aplicación del método tiempo-historia en dichas circunstancias.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Identificar los parámetros que influyen en el comportamiento estructural de edificios sujetos a movimientos del suelo.
2. Analizar la información obtenida aplicando el método de elementos finitos (FEM) para posteriormente interpretar los resultados.
3. Comparar los resultados de los dos métodos y definir sus diferencias.
4. Proponer una guía técnica con recomendaciones en la aplicación del método tiempo-historia.

## **1.5 Justificación**

El desarrollo del trabajo realizado surge de la necesidad de estudiar un tema que no está tan discutido en el Código Hondureño de la Construcción (CHOC-08), y que si bien es cierto la matemática aplicada se encuentra disponible no existe una guía práctica que permita al diseñador realizar análisis dinámicos alternativos al método explícito en el reglamento.

Los beneficios de dicha investigación se reflejarán en una mejor comprensión del análisis tiempo-historia y en la aplicación del método más adecuado para un diseño estructural más eficiente.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

A continuación, se detalla la revisión de literatura e información que sustentan la investigación y que es necesaria para comprender en la medida que sea posible los conceptos que intervienen para el desarrollo del documento.

### **2.1 Análisis de la situación actual**

#### **2.1.1 Análisis de macroentorno**

En la actualidad las estructuras deben diseñarse para resistir las fuerzas sísmicas a las que pueda estar sometida. En general se modelan como cargas lateras actuando en el sistema estructural.

Nilson (1999) menciona que:

Históricamente en Norteamérica el diseño sísmico ha hecho énfasis en el movimiento horizontal del terreno debido a que la componente horizontal de un terremoto excede en general la componente vertical ya que las estructuras por lo general mucho más rígidas y resistentes para la respuesta ante cargas verticales en comparación con su respuesta ante cargas horizontales. La experiencia ha demostrado que las componentes horizontales son las más destructivas. Para el diseño estructural, la intensidad de un terremoto se describe en términos de la aceleración del terreno como una fracción de la aceleración de la gravedad, es decir, 0.1, 0.2 ó 0.3g. Aunque la aceleración pico es un parámetro de diseño decisivo, las características de frecuencia y la duración de un terremoto son también importantes; mientras más cercana sea la frecuencia del terremoto a la frecuencia natural de una estructura y mientras mayor sea la duración del terremoto, mayor será el potencial de daño. (p. 645)

El comportamiento de una estructura varía según el tipo de suelo donde se apoye. Un suelo podría ser vulnerable a fallas importantes o al colapso bajo cargas sísmicas por lo que las normativas y los códigos de construcción proporcionan definiciones que asistan al profesional estructural y geotécnico a prever estos efectos característicos de cada suelo.

Ambrose (2015) asegura que:

Con más experiencia en el uso de criterios de diseño y los datos en la forma de estudios geológicos requeridos para su puesta en ejecución, es probable que esta área de investigación tendrá más influencia. Hasta cierto punto, esta es una tendencia de interés por los factores geológicos fuera del sitio inmediato, como tradicionalmente era reflejado por las perforaciones comunes del suelo, poco profundas, en el lugar de ubicación del edificio. (p. 581)

Con el tiempo se ha mejorado la idealización de la interacción suelo-estructura convirtiéndose en un campo en desarrollo en la actualidad. El tipo de suelo incide directamente en la fuerza sísmica que afecta a una estructura.

McCormack y Brown (2011) detallan que:

Los parámetros de respuesta espectral determinados anteriormente se modifican basándose en la clase de suelo en el sitio de la estructura. El suelo en el sitio se clasifica como clase A de suelo en el sitio hasta F de acuerdo con la tabla 20.3-1 y la sección 20.3 de ASCE/SEI 7, usando solamente la capa superior de 100 pies del perfil del sitio. La clase de suelo en el sitio más baja, la clase A del sitio (roca dura), da una fuerza de diseño sísmico relativamente baja. Las clases más altas de suelo en el sitio dan fuerzas de diseño sísmico más altas. (p. 630)

Los códigos de construcción utilizan el parámetro de velocidad de onda cortante para clasificar los suelos. Como detallan McCormack y Brown, dicha clasificación es importante pues es determinante en la magnitud de la fuerza sísmica.

“Los sismos más severos y los más importantes desde el punto de vista de la ingeniería, son los de origen tectónico, que se deben a desplazamientos bruscos de las grandes placas en que está subdividida dicha corteza” (Bazán. Mely, p. 15).

“Por los movimientos vibratorios de las masas de los edificios, se generan fuerzas de inercia que inducen esfuerzos importantes en los elementos de la estructura y que pueden conducir a la falla” (Bazán. Mely, p. 15).

Los sismos se idealizan como cargas laterales que generan fuerzas inerciales en la estructura, es decir que la carga sísmica es función de la masa de la estructura. También existe una

componente vertical cuyo efecto es en general menor al de las componentes horizontales y normalmente no se considera.

La dinámica estructural estudia las vibraciones de cuerpos flexibles, aunque en muchos casos las deformaciones relativas entre algunas partes de la estructura son de un orden de magnitud tan pequeño, que pueden aplicarse los principios de la dinámica de cuerpos rígidos en algunas porciones de la estructura. (García, Luis, 1998, p. 3)

“El efecto de los sismos se ve influenciado enormemente por las características locales del suelo, en la zona afectada” (García, Luis, 1998, p. 80).

La caracterización del depósito de suelo donde se encuentra la estructura es fundamental pues modifica la intensidad con la que un sismo afecta la estructura y según sus características puede generar efectos no deseados sobre la misma.

Mediante un análisis dinámico se puede aproximar de manera más adecuada el comportamiento de una estructura ya que en realidad se generan fuerzas inerciales en la misma que generan desplazamientos.

“El análisis de vibración libre es también útil en obtener métodos para la solución de problemas tanto de vibración libre amortiguada como vibración forzada” (Humar, 2002, p. 534).

Una gráfica del valor máximo de una cantidad de respuesta como una función del período de vibración natural  $T_n$  del sistema, o de un parámetro relacionado, como la frecuencia circular  $\omega_n$  o la frecuencia cíclica  $f_n$ , se denomina espectro de respuesta para dicha cantidad. (Chopra, Anil K., 2014, p. 207)

El método dinámico que más se utiliza en el diseño estructural es el modal espectral en el que se recurre a un espectro de respuesta que exhibe la aceleración máxima esperada para un periodo dado y un tiempo de retorno propuesto.

“El espectro de diseño debe consistir en un conjunto de curvas suaves o en una serie de líneas rectas con una curva para cada nivel de amortiguamiento” (Chopra, Anil K., 2014, p. 230).

Una estructura presenta varios modos de vibración y cada uno posee una respuesta máxima por lo que se requiere una combinación de los modos de vibración para obtener el valor máximo esperado de respuesta.

“En el método de superposición modal, se hallan las respuestas en cada modo de vibración y para encontrar la resultante, se debe aplicar un criterio de combinación modal” (Falconi, Roberto A., 2008, p.143).

Según la Universidad de California, Berkeley (2018) el Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) es un centro de educación multi institucional basado en la universidad de California, Berkeley en donde más de 20 universidades y otros contribuyentes aportan a la investigación de la ingeniería sísmica basada en desempeño.

La universidad de California, Berkeley posee una base de datos con información sobre actividad sísmica alrededor del mundo y de donde se pudo obtener información para el desarrollo del presente trabajo.

### **2.1.2 Análisis de microentorno**

En Honduras se ha reportado actividad sísmica con efectos nefastos para la infraestructura desde el siglo XVI. Sin embargo, es hasta principios del siglo XXI donde se genera un Código Hondureño de la Construcción que exige que el proyectista estructural considere el efecto sísmico en el análisis estructural que desarrolle.

Como punto de partida, la actividad sísmica de la que se tiene registro en Honduras es desde el año 1539, cuando un sismo ocurrió en Honduras y dejó daños en la región centroamericana. Las sacudidas continuaron desde ese entonces con variable intensidad ocasionando caos, destrucción y zozobra en los hondureños. (Historia de Honduras - Los sismos en Honduras, s. f.)

Desde la época colonial se ha documentado el efecto de los sismos en Honduras que fue bastante devastador pues en ese tiempo no se contaban con los instrumentos para medirlos ni con las herramientas técnicas para poder analizarlos y considerarlos en el diseño.

En 1609 un fuerte terremoto sacudió Comayagua, dejando réplicas por espacio de 4 meses. Un año más tarde la antigua capital fue estremecida por un temblor que dañó las paredes de la Catedral central. En 1674 un sismo de 6 a 6.5 grados destruyó 108 casas y dejó numerosas víctimas en Trujillo. (Historia de Honduras - Los sismos en Honduras, s. f.)

“Un siglo más tarde, en 1774, temblores de una intensidad de 5.5 grados arrasaron con infraestructuras en Comayagua y en los municipios de Lejamaní y Ajuterique. Las sacudidas también se hicieron sentir en Tegucigalpa” (Historia de Honduras - Los sismos en Honduras, s. f.).

El norte ha sido una de las zonas más susceptibles a daños debido a actividad sísmica debido a la convergencia de la placa del caribe con la placa de américa del norte. Los efectos han sido ampliamente descritos por los distintos medios de comunicación.

El 28 de mayo del 2009, Chiessa, Rosa señala:

Un sismo de magnitud 7.1° en la escala de Richter...se ha reportado daños en el Hospital Mario Catarino Rivas de San Pedro Sula, Hospital de El Progreso, Hospital de Santa Bárbara y en 13 unidades de salud del departamento de Cortés.

No se tiene información si ocasionaron daños o víctimas. En los años 1855 y 1856, el caribe hondureño fue sometido a movimientos sísmicos. Un sismo de 6 a 6.5 grados de 15 segundos dejó daños severos en Trujillo y Roatán en 1855. (Diario El Herald, 29 de mayo, 2009).

Un sismo entre los 7 y 8 grados dejó devastación a lo largo de la costa de Honduras en 1856. Grietas, cambio de dirección de los ríos y variaciones del nivel del mar que ocasionaron un Tsunami con olas de 5 metros. Las réplicas continuaron por 8 días.(Historia de Honduras - Los sismos en Honduras, s. f.)

“Pedimos que se tomen medidas preventivas porque el costo de los puentes es carísimo y no podemos permitir que colapsen pudiendo tomar medidas preventivas” (Lisseth, 2013).

“Un fuerte temblor se sintió la noche de este martes en gran parte del territorio hondureño y varios paises de la región centroamericana. El movimiento telúrico de 7.6 grados en la escala de Richter se registró a eso de las 8:50 de la noche” (Diario el Herald, 2018).

Por lo tanto, la consideración de fuerzas sísmicas es de suma importancia para poder analizar y diseñar estructuras que puedan resistir las fuerzas laterales a las que será sometida.

## **2.2 Teorías**

### **2.2.1 Teorías de Sustento**

#### **2.2.1.1 Detección de los sismos**

Para poder conocer el efecto de los sismos es necesario identificar el su origen, sus causas y desarrollar instrumentos que los puedan medir. El historial de aceleraciones en una zona junto a la caracterización del suelo proporciona parámetros útiles para que el proyectista estructural pueda desarrollar un análisis dinámico preciso y eficiente.

Gallo Ortiz, Gabriel; Espino Márquez, Luis Ignacio y Olvera Montes; Alfonso Emilio (2011) afirman que:

Como se sabe, los sismos de origen tectónico son producidos por la liberación súbita de la energía potencial acumulada entre las placas componentes de la corteza terrestre. Dicha liberación producida en un punto en el interior de la tierra, llamado foco, genera ondas P, o de compresión, y S, o de cortante, que se transmiten en el medio terráqueo y que sufren reflexiones y refracciones hasta llegar a la superficie, donde dan origen a otros tipos de ondas llamadas de Love y de Rayleigh, en honor a sus descubridores.

Las ondas P y S son detectadas por aparatos denominados sismógrafos, los que registran los cambios de aceleración en función del tiempo y cuyos registros nos proporcionan las características del sismo:

- a) Distancia al epicentro, a partir de la longitud en la escala de tiempo del registro de las ondas P.
- b) Magnitudes de las aceleraciones sísmicas en cualquier tiempo  $t$  dentro del evento sísmico, incluidos los valores máximos.
- c) Los valores de los periodos  $T$ , característicos del movimiento sísmico del terreno.
- d) La duración del evento también mediante la medición en la escala del tiempo de las vibraciones considerables.
- e) La magnitud del temblor, que es equivalente al tamaño del sismo en su origen. (p. 31)

### **2.2.1.2 Análisis dinámico para estructuras**

Para poder considerar de manera adecuada el comportamiento del sistema físico real es necesario desarrollar modelos matemáticos que describan a la estructura con cargas dinámicas que generan desplazamientos y fuerzas inerciales en la estructura.

El análisis dinámico que se va a realizar es el estudio de la vibración de sistemas estructurales de edificaciones de varios niveles, con masas concentradas ubicadas en el piso de cada nivel. Estos sistemas se denominan Sistemas discretos de varios grados de libertad (GDL), los GDL se relacionan con los desplazamientos de las masas discretas de cada nivel. (Olaza, Carlos H., 2015, p. 12)

Un análisis dinámico para estructuras complejas requiere de un análisis de elementos finitos que permita descomponer la estructura en varias partes con el fin de obtener modos de vibración, frecuencias y otras propiedades del sistema.

### **2.2.1.3 Análisis dinámico de sistemas discretos de varios grados de libertad**

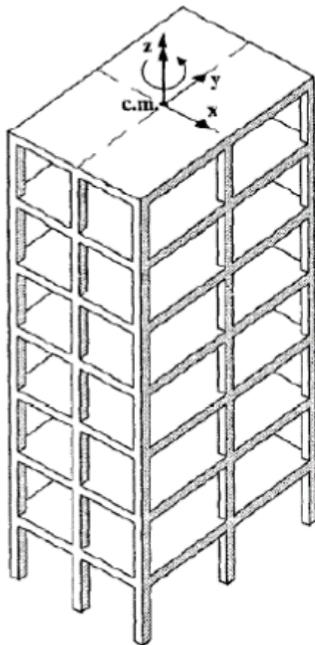
Para realizar un análisis dinámico de una estructura se recurre a modelos discretizados de tal forma que capte los factores que más inciden en comportamiento real de la estructura y así poder estimar su respuesta a las cargas aplicadas.

Olaza, Carlos H. (2015) menciona:

Para el análisis dinámico de edificaciones de varios pisos, se recurre a la utilización de modelos matemáticos de sistemas de varios grados de libertad, sin embargo, estos modelos varían acuerdo a la complejidad estructural, pero con el objetivo de no perder información sobre el desempeño de la estructura. (p.13)

Entre los modelos utilizados comúnmente se tiene un modelo tridimensional de masa concentradas como un sistema de pisos que se comportan como diafragmas rígidos con tres grados de libertad que corresponden a dos traslaciones ortogonales entre sí y a una rotación por cada piso, otro modelo simplificado utilizado en estructuras simétricas es el modelo de masas concentradas en una dirección, separando la rotación de cada piso. (p. 13)

“Cualesquiera que sean los modelos a utilizar estos se considerarán como sistemas de  $n$  grados de libertad ( $n$  GDL), donde  $n$  será el número de desplazamientos con lo que se define la estructura” (p.14).



**Figura 1. Edificio de diafragma rígido con tres grados de libertad por piso.**

Fuente: (Olaza, Carlos H., 2015, p. 14)

Para el análisis sísmico de edificaciones, el modelo se considera en equilibrio dinámico sometido a acciones externas debidas al movimiento del suelo. “No se tienen propiamente fuerzas externas, sino más bien fuerzas de inercia (Piqué, y Scaletti, 1991:4-2)”, formulándose las ecuaciones de equilibrio dinámico consistente en un sistema de n ecuaciones diferenciales de segundo orden, el cual se expresa matricialmente de la siguiente manera:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{0\}$$

### **Ecuación 1. Ecuación de vibración amortiguada libre**

Fuente: (Thomson, W., Dahleh, M., 1998, p. 27)

La ecuación 1 es una forma compacta de expresar el sistema de ecuaciones diferenciales lineales expresadas matricialmente como sigue:

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{U}_1 \\ \ddot{U}_2 \\ \vdots \\ \ddot{U}_n \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \vdots \\ \dot{U}_n \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ \vdots \\ U_n \end{Bmatrix} = \{0\}$$

### **Ecuación 2. Ecuación de vibración libres de varios grados de libertad**

Fuente: (Olaza, Carlos H., 2015, p. 15)

Donde las matrices presentadas son cuadradas de orden nxn, y los términos con el punto sobre el símbolo indica derivada con respecto al tiempo: (velocidad)  $\dot{U}_i = \frac{dU_i}{dt}$  y (aceleración)  $\ddot{U}_i =$

$$\frac{d\dot{U}_i}{dt}$$

Esas ecuaciones involucran fuerzas que se encuentran en equilibrio, como son las fuerzas de inercia  $\{F_I\} = [M]\{\ddot{U}\}$ , las fuerzas de amortiguamiento  $\{F_D\} = [C]\{\dot{U}\}$  y las fuerzas elásticas o de rigidez  $\{F_S\} = [K]\{U\}$ , además los vectores  $\{\ddot{U}\}$ ,  $\{\dot{U}\}$ ,  $\{U\}$ , corresponden a las aceleraciones, velocidades y desplazamientos absolutos asociadas a cada grado de libertad. Para la solución de las ecuaciones (1.1) es conveniente descomponer los desplazamientos absolutos  $\{U\}$  en un desplazamiento relativo  $\{X\}$  más un desplazamiento de cuerpo rígido con el terreno (Piqué, y Scaletti, 1991:4-3) como se muestra en (1.2):

$$\{U\} = \{X\} + \{\lambda\}x_s(t)$$

### **Ecuación 3. Ecuación de desplazamiento absoluto del sistema**

Fuente: (Olaza, Carlos H., 2015, p. 15)

En esta expresión  $\{\lambda\}$  representa los desplazamientos de cuerpo rígido correspondientes a un desplazamiento unitario del terreno en la dirección de la acción sísmica considerada;  $x_s(t)$  denota el desplazamiento del terreno en esta misma dirección. Derivando la ecuación 3 con respecto al tiempo se tiene las velocidades y aceleraciones:

$$\{\dot{U}\} = \{\dot{X}\} + \{\lambda\}\dot{x}_s(t)$$

### **Ecuación 4. Ecuación de velocidad**

Fuente: (Olaza, Carlos H., 2015, p. 16)

$$\{\ddot{U}\} = \{\ddot{X}\} + \{\lambda\}\ddot{x}_s(t)$$

### **Ecuación 5. Ecuación de aceleración**

Fuente: (Olaza, Carlos H., 2015, p. 16)

Reemplazando las expresiones (3), (4) y (5) en (1) y considerando que un movimiento de cuerpo rígido implica que no hay deformaciones en la estructura y por lo tanto no se producen

fuerzas elásticas por lo tanto  $[K]\{\lambda\} = 0$ , además suponiendo que  $[[C]\{\lambda\} = 0]$ , obteniéndose finalmente el sistema de ecuaciones del movimiento o sistemas de ecuaciones diferenciales de segundo orden.

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = [M]\{\lambda\}\ddot{s}(t)$$

### **Ecuación 6. Ecuación de frecuencias de un sistema**

Fuente: (Olaza, Carlos H., 2015, p. 16)

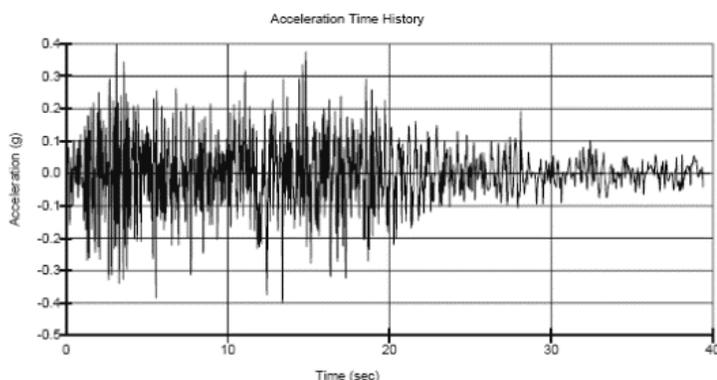
Donde:

$[M]$ ,  $[C]$  y  $[K]$ : son las matrices de masa, de amortiguamiento y de rigidez respectivamente, sus componentes son constantes.

$\{\ddot{X}\}$ ,  $\{\dot{X}\}$  y  $\{X\}$ : Son el vector de aceleración relativa, de velocidad relativa y de desplazamiento relativo al terreno respectivamente. Sus componentes son funciones del tiempo.

$\{\lambda\}$ : Vector de desplazamiento unitario en la dirección del sismo.

$\ddot{s}(t)$ : Aceleración del terreno en la dirección del sismo, es una función escalar dependiente del tiempo.



**Figura 2. Gráfico del registro de aceleración del terreno  $\ddot{s}(t)$ , como función dependiente del tiempo.**

Fuente: (Olaza, Carlos H., 2015, p. 17)

#### 2.2.1.4 Análisis de las frecuencias de vibración

Para determinar las frecuencias naturales del sistema se debe evaluar la ecuación del movimiento sin el amortiguamiento, donde se llega a un problema de valores propios.

La ecuación que describe el movimiento de un sistema no amortiguado que vibra libremente está dado por:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{0\}$$

#### **Ecuación 7. Ecuación de vibración libre sin amortiguamiento**

Fuente: (Humar, J. L, 2002)

Que al realizar algunas operaciones algebraicas se llega a la siguiente ecuación conocido comúnmente como problema de valores propios linealizados. (Humar, J. L, 2002, p.534)

$$[K]\{U\} = \omega^2[M]\{U\}$$

#### **Ecuación 8. Ecuación de problema de valores propios linealizado**

Fuente: (Humar, J. L, 2002, p. 535)

Que se puede expresar como:

$$\|[K] - \omega^2[M]\| = 0$$

#### **Ecuación 9. Ecuación de frecuencias de un sistema**

Fuente: (Clough, Penzien, 2003, p. 202)

Llamada por (Clough, Penzien, 2003, p. 202) la ecuación de frecuencias de un sistema.

Que según dichos autores al expandir el determinante dará una ecuación algebraica de enésimo grado en el parámetro de frecuencias  $\omega^2$  para un sistema que tiene N grados de libertad.

Al resolverla ecuación se llega al vector de frecuencias siguiente:

$$\omega = \begin{Bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \vdots \\ \omega_n \end{Bmatrix}$$

## **Ecuación 10. Vector de frecuencias del sistema**

Fuente: (Clough, Penzien, 2003, p. 202)

“Esto puede ser mostrado que para matrices de masa definidas reales, simétricas, positivas y matrices de rigidez la cual pertenece a un sistema estructural estable, todas las raíces de la ecuación de frecuencias serán reales y positivas” (Clough, Penzien, 2003, 202).

### **2.2.1.5 Análisis de modos de forma de vibración**

Resolviendo el problema de valores propio se obtiene el vector propio que resulta en las formas modales del sistema.

Reemplazando cada valor de la frecuencia  $\omega_i$  en la ecuación 8 podemos obtener vectores  $U_i$  diferentes de cero; cada uno de ellos se llama modo de vibración” (Bazán, Mely, 1999, p.110).

“No resultan soluciones únicas para cada modo sino solamente valores relativos entre las  $U_{ij}$ , es decir que no están definidas las amplitudes de las vibraciones, sino las relaciones entre todas ellas” (Bazán, Mely, 1999, p.110).

Los modos de vibración tienen propiedades especiales que resultan de gran utilidad a la hora de resolver problemas dinámicos simplificando el sistema de ecuaciones diferenciales acoplados inherentes del problema.

Según Bazán, Mely (1999), Se demuestra que los modos de vibración tienen las siguientes propiedades:

- a) Ortogonalidad con respecto a la matriz de masas

$$U_j^T [M] U_i = 0 \quad \text{si } j \neq i$$

- b) Ortogonalidad con respecto a la matriz de rigideces

$$U_j^T [K] U_i = 0 \quad \text{si } j \neq i$$

- c) Los modos naturales constituyen un conjunto completo, lo que significa que cualquier configuración de desplazamientos  $u$  puede expresarse como una combinación lineal de las  $U_j$ , es decir:

$$u = \sum_{j=1}^n a_j U_j$$

(p.111).

### **2.2.1.6 Cálculo numérico de modos y frecuencias de vibrar**

La resolución analítica del problema de valores propios resulta ineficiente cuando se tienen muchos grados de libertad, por lo tanto, se recurre a métodos numéricos por la facilidad que dan los ordenadores para su solución.

Los procedimientos anteriores resultan muy laboriosos en sistemas de múltiples grados de libertad como en el caso de edificios por lo que se recurre a métodos alternativos para su determinación. “Por ello se han desarrollado métodos numéricos de aproximaciones sucesivas” (Bazán, Mely, 1999, p.110). Entre ellos está el Método de Newmark, el método de Holzer, el Método de iteración inversa.

### **2.2.1.7 Cálculo paso a paso de la ecuación del movimiento**

Con la llegada de las computadoras ya se tiene la facilidad de efectuar análisis más refinados dado paso a varios métodos que en el pasado no eran práctico realizar debido al gran volumen de cálculos que las máquinas en poco tiempo pueden realizar.

Bazán y Meli (1999) plantean lo siguiente:

Dada la manera que se expresan los acelerogramas (...) es conveniente resolver numéricamente las ecuaciones de equilibrio dinámico con la ayuda de computadoras. Para este fine existe una amplia variedad de métodos consistente en calcular la solución  $t + \Delta t$  a partir de la solución ya conocida

en  $t$ . Estos métodos, denominados paso a paso, pueden aplicarse tanto a estructuras lineales y no lineales de cualquier número de grados de libertad, y están incorporados en una gran cantidad de los programas comerciales de análisis estructural. (p. 104)

Dado que las aceleraciones debido a los sismos son de naturaleza muy irregular resulta muy difícil deducir analíticamente la relación tiempo-aceleración, pero, al tener intervalos de lecturas muy pequeños se puede ajustar una relación lineal entre puntos dando lugar a una solución de la ecuación diferencial de forma analítica con una función de excitación lineal, dado como resultado una gran precisión.

En muchos casos de la dinámica estructural la función de excitación  $p(t)$  no es una expresión analítica como en el caso de la aceleración del suelo por un sismo donde sólo se obtienen valores discretos. Una forma de afrontar este problema es por medio de interpolaciones entre los valores dados y resolver la ecuación de una forma exacta (Craig, Jr, 1981).

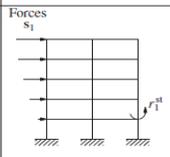
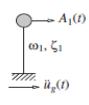
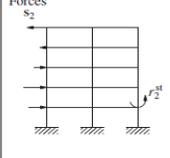
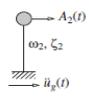
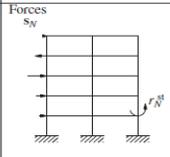
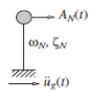
Aprovechando la propiedad de los modos donde cualquier deformación modal se puede expresar como la sumatoria de las contribuciones de todos los modos y la alta capacidad de los ordenadores para la suma y manejo de gran cantidad de datos, resulta eficaz resolver mediante interpolación lineal y sumar las contribuciones de cada modo para obtener la respuesta de la estructura en cada intervalo de tiempo.

La superposición modal provee un procedimiento con una alta eficiencia y preciso para ejecutar el análisis tiempo-historia. Integraciones de forma cerrada de las ecuaciones modales es usado para calcular la respuesta, asumiendo variación lineal de las funciones del tiempo,  $f_i(t)$  entre los datos de entrada en los puntos del tiempo. (Computer & Structures, Inc. ,2017, p.403)

### 2.2.1.8 Interpretación del Análisis Modal

El proceso del análisis modal se resume con la determinación de los modos de vibración libre del sistema con los que se determinan la distribución de fuerzas con las cuales se realiza un análisis estático, luego, la contribución de cada modo a la respuesta dinámica del sistema se obtiene de la respuesta del análisis estático y el análisis dinámico del sistema de un grado de libertad de cada modo bajo la excitación del suelo acelerado.

Chopra (2012) afirma que en la primera fase de del análisis dinámico modal, las propiedades de vibración, es decir, los modos y las frecuencias de la estructura son calculados y el vector de distribución de fuerzas  $m_1$  se expande a sus componentes  $s_n$ . El resto del análisis se muestra de manera esquemática en la Figura 3 para reforzar los conceptos involucrados. La contribución del  $n$ -ésimo modo se obtiene de multiplicar los resultados de dos análisis: (1) análisis estático de la estructura con fuerzas aplicadas  $s_n$ , y (2) análisis dinámico del  $n$ -ésimo modo para un sistema de un grado de libertad excitado por la aceleración  $\ddot{u}_g(t)$ . Por lo tanto, el análisis modal requiere el análisis estático de la estructura para  $N$  conjuntos de fuerzas:  $s_n$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ ; y el análisis dinámico de  $N$  sistemas diferentes. Combinando las respuestas modales se obtiene la respuesta sísmica de la estructura.

Mode	Static Analysis of Structure	Dynamic Analysis of SDF System	Modal Contribution to Dynamic Response
1			$r_1(t) = r_1^{st} A_1(t)$
2			$r_2(t) = r_2^{st} A_2(t)$
•	•	•	•
•	•	•	•
•	•	•	•
N			$r_N(t) = r_N^{st} A_N(t)$
Total response			$r(t) = \sum_{n=1}^N r_n(t)$

**Figura 3. Explicación conceptual del análisis modal.**

Fuente: Chopra, 2012.

### 2.2.1.9 Interpretación del Análisis del espectro de respuesta

Chopra indica que el análisis del espectro de respuesta es un procedimiento para el análisis dinámico de una estructura sujeta a una excitación sísmica, pero se reduce a una serie de análisis estáticos. Para cada modo considerado, el análisis estático de la estructura sujeta a fuerzas  $s_n$  proporciona la respuesta modal estática  $r_n^{st}$  que se multiplica por la ordenada espectral  $A_n$  para obtener la respuesta modal pico  $r_{no}$ . Por lo tanto, el procedimiento espectral sigue siendo un procedimiento dinámico pues utiliza todas las propiedades de vibración, frecuencias naturales, modos naturales, y tasas de amortiguamiento modal de la estructura, además de las características dinámicas del movimiento del suelo por medio de su espectro de respuesta (o diseño). Lo que sucede es que el usuario ya no necesita llevar a cabo repuestas a lo largo del tiempo pues ya se ha desarrollado un espectro de respuesta que ha sido caracterizado por un diseño espectral suavizado.

### 2.2.1.10 Combinación modal

El Código Hondureño de la Construcción establece que se debe hacer una combinación modal para obtener las respuestas máximas de la estructura por medio de métodos reconocidos, que normalmente están basados en teorías estadísticas.

De acuerdo con las normas colombianas de diseño y construcción sismo-resistente (2003): Las respuestas máximas obtenidas para cada modo,  $m$ , de las deflexiones, derivas, fuerzas en los pisos, cortantes de piso, cortante en la base y fuerzas en los elementos, deben combinarse utilizando métodos apropiados y debidamente sustentados tales como el de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados u otros. Debe tenerse especial cuidado cuando se calculen las combinaciones de las derivas, calculando la respuesta máxima de la deriva causada por modo independiente y combinándolas posteriormente. No es permitido obtener las derivas totales a partir de deflexiones horizontales que ya han sido combinadas. Cuando se utilicen modelos matemáticos de análisis tridimensional deben tenerse en cuenta los efectos de interacción modal. (p. 51)

Uno de estos métodos es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados se recomienda cuando la variación de frecuencias entre modos es mayor al 10% del primer modo ya que da valores más razonables que el método de suma de valores absolutos (ABSSUM).

“La regla de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS por sus siglas en inglés para la combinación modal, desarrollada en la tesis de doctorado de E. Rosenbleuth (1951), es” (Chopra, 2012, p. 563):

$$r_0 \cong \left( \sum_{n=1}^N r_{no}^2 \right)^{1/2}$$

#### **Ecuación 11. Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados**

Fuente: (Chopra, 2012, p. 563)

Con el método de combinación cuadrática completa se abarca más estructuras ya que para variaciones de frecuencias pequeñas da resultados más racionales que el método SRSS y para variaciones grandes se acerca a este último por lo que es un método más versátil.

“La regla de la combinación cuadrática (CQC, por sus siglas en inglés) para la combinación modal es aplicable a una clase más amplia de estructuras, puesto que supera las limitaciones de la regla SRSS. De acuerdo con la regla CQC” (Chopra, 2012, p. 563).

$$r_0 \cong \left( \sum_{i=1}^N \sum_{n=1}^n \rho_{in} r_{io} r_{no} \right)^{1/2}$$

### **Ecuación 12. Combinación cuadrática completa**

Fuente: (Chopra, 2012, p. 563)

Para frecuencias pequeñas el método SRSS pierde precisión al calcular la respuesta de la estructura por lo que hay que tener cuidado ya que el reglamento CHOC-08 recomienda este método, aunque, da la opción de utilizar cualquier método reconocido.

Chopra (2012) detalla que:

Para las estructuras con frecuencias naturales muy separadas los coeficientes  $\rho_{in}$  se desvanecen; como resultado, todos los términos cruzados ( $i \neq n$ ) en la regla CQC (...) pueden despreciarse y la regla CQC se reduce a la regla SRSS (...). Ahora está claro que la regla SRSS es aplicable a estructuras con frecuencias naturales muy separadas de aquellos modos que contribuyen de manera significativa a la respuesta. (p. 565)

Cuando la aceleración del suelo presenta más de una componente, se han desarrollado métodos para encontrar la respuesta máxima probable como el método CQC3.

Sesigur, Celik, y Cili (2004) explican que Menun y Der Kiureghian presentaron una regla de respuesta espectral máxima para combinar las contribuciones de tres componentes ortogonales del movimiento del suelo al valor máximo de la respuesta. Esta regla se llama CQC3 que además ofrece la orientación más crítica de las componentes de movimiento de suelo.

## 2.2.2 Marco Conceptual

**Estructura:** De acuerdo con Hibbeler (2011) se refiere a un sistema de partes conectadas para resistir una o varias cargas.

**Modelo matemático de una estructura:** “Es una representación idealizada de ésta para su análisis” (Paz, Mario, 1992, p. 19).

**Concreto Reforzado:** “Concreto estructural reforzado con una cantidad de acero no menor que las cantidades mínimas de tendones preesforzados o refuerzo no preesforzado” (Comisión técnica, 2008, p. 2-4).

**Estructuras regulares:** “Las estructuras regulares no tienen discontinuidades físicas significativas en su configuración vertical o en planta, o en su sistema resistente a fuerzas laterales como las descritas en la sección 1.3.4.5.3 del código” (Comisión técnica, 2008, p. 1-22).

**Grados de libertad:** “Corresponde al número mínimo de coordenadas necesarias para definir la posición en el espacio y en el tiempo de todas las partículas de masa del sistema” (García, Luis E., 1998, p. 5).

**Marco rígido especial (MRE):** “Es un marco resistente a momento detallado especialmente para proporcionar un comportamiento dúctil y que cumple con los requisitos de la sección 21 de las normas técnicas...de este código” (Comisión técnica, 2008, p. 1-18).

**Módulo de elasticidad:** “La relación entre esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente para esfuerzos de tensión o compresión debajo del límite proporcional del material” (Comisión técnica, 2008, p. 2-5).

**Rigidez:** “Se define como la relación entre fuerzas externas y las deformaciones que ellas inducen en el cuerpo” (García, Luis E., 1998, p. 8).

## **2.3 Metodologías aplicadas**

### **2.3.1 Método tiempo-historia**

Es la respuesta de un sistema de un grado de libertad ya sea en desplazamiento, velocidad o aceleración en cada instante del tiempo. Estas respuestas dependen de la frecuencia natural y el amortiguamiento del sistema.

Según Computers & Structures, Inc. (2017) la superposición modal provee un procedimiento preciso para desarrollar un análisis tiempo historia. La integración de forma cerrada de las ecuaciones modales es utilizando para calcular la respuesta asumiendo variación lineal de las funciones de tiempo,  $f_i(t)$  entre los puntos de introducción de datos.

### **2.3.2 Método de espectro de respuesta**

El espectro de respuesta se constituye de las respuestas máximas de desplazamientos, velocidades o aceleraciones para los distintos valores de períodos o frecuencias naturales de un sistema de un grado de libertad. Una característica es que todos sus valores son positivos.

Según Computers & Structures, Inc. la curva del espectro de respuesta para una dirección dada está definida por la digitalización de puntos de la respuesta de aceleración pseudo espectral contra el periodo de la estructura. La forma de la curva está dada especificando el nombre de una función. Todos los valores de la abscisas y ordenadas de la función deben ser cero o positivo.

### **2.3.3 Método de elementos finitos (MEF)**

En la actualidad se pueden realizar modelos más refinados por medio del Método de Elementos Finitos (MEF), con el que se puede captar respuestas de la estructura que se pierden por los modelos simplificados de análisis ya que se pueden generar esfuerzos localizados debido a las irregularidades físicas que cada vez son más frecuentes en las estructuras modernas, donde con una correcta discretización se pueden encontrar respuestas que pueden ser significativas para el diseño.

Adicionalmente, la búsqueda de minimizar el empleo de recursos en estructuras junto con la invención de materiales de alta resistencia ha hecho cada vez más importante las fallas locales y de estabilidad de los elementos, donde el MEF puede ser de gran utilidad para la prevención de dichos fenómenos.

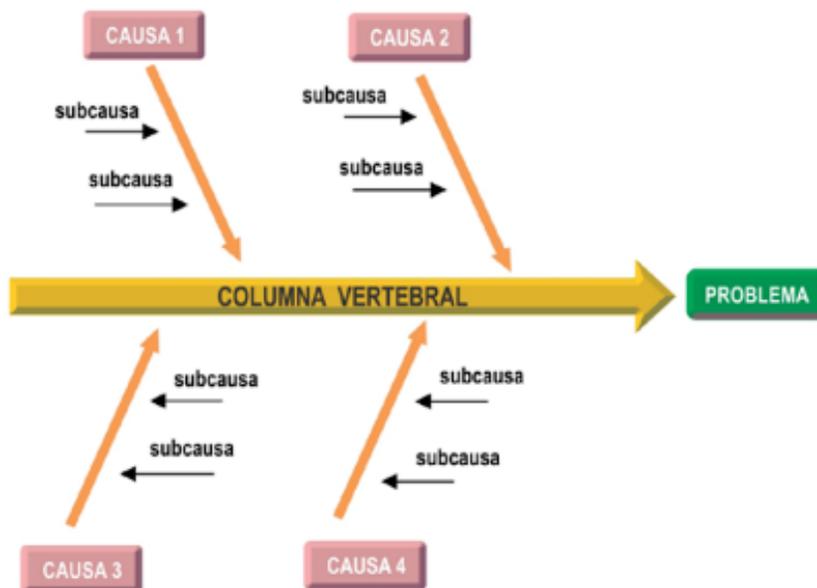
“El método de elemento finito es uno de los más importantes desarrollos en la mecánica aplicada” (Chopra, 2012, p. 735).

### **2.3.4 Diagrama de Ishikawa**

Parraguez Carrasco, Simona María. Chunga Chinguel, Gerardo Raúl. Flores Cubas, Marlene Milusca. Romero Cieza, Rosario Ysabel (2017) explican el diagrama de Ishikawa que fue desarrollado por Kaoru Ishikawa en 1943:

El diagrama de Ishikawa o diagrama de causa-efecto es un gráfico que permite apreciar con claridad las relaciones entre un tema o problema y las posibles causas que pueden estar contribuyendo para que él ocurra (Galgano, 1995).

También es llamado diagrama de espina de pescado, debido a que su forma es similar al esqueleto de un pez. Está compuesto por un recuadro (cabeza), una línea principal (columna vertebral) y cuatro o más líneas que apuntan a la línea principal, formando un ángulo aproximado de 70° (espinas principales). (p. 49)



**Figura 4. Estructura de diagrama de Ishikawa**

Fuente: Parraguez Carrasco, Simona María. Chunga Chinguel, Gerardo Raúl. Flores Cubas, Marlene Milusca. Romero Cieza, Rosario Ysabel. (2017).

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

El presente capítulo detalle el diseño de la investigación, las variables, las técnicas e instrumentos aplicados para que fuera posible su desarrollo.

### 3.1 Congruencia metodológica

#### 3.1.1 Matriz Metodológica

**Tabla 1. Matriz Metodológica**

	Problema	Preguntas de investigación	Objetivo		Variables	
			General	Específico	Independiente	Dependiente
Respuesta dinámica de edificios regulares de concreto sobre un depósito de suelo tipo S4 en Honduras	Se carece de información para la aplicación del método de tiempo-historia ya que es muy general en la normativa del país y no existen recomendaciones específicas sobre el análisis de estructuras en suelos tipo S4.	¿Cuál sería la alternativa más viable para modelar edificios en suelos de clasificación S4 y obtener resultados más confiables?	Mostrar la aplicación del método tiempo-historia para el análisis dinámico de una estructura regular en un suelo tipo S4 mediante la modelación computacional para elaborar una guía con recomendaciones en la aplicación del método en dichas circunstancias.	Identificar los parámetros que influyen en el comportamiento estructural de edificios sujetos a movimientos del suelo.	Relación ancho/largo Número de niveles	Guía técnica para el análisis tiempo historia.
		¿Cuáles son los factores que más inciden en la respuesta dinámica de los edificios?		Analizar la información obtenida aplicando el método de elementos finitos (FEM) para posteriormente interpretar los resultados.		

### Continuación de la Tabla 1. Matriz Metodológica

	Problema	Preguntas de investigación	Objetivo		Variables	
			General	Específico	Independiente	Dependiente
Respuesta dinámica de edificios regulares de concreto sobre un depósito de suelo tipo S4 en Honduras	Se carece de información para la aplicación del método de tiempo-historia ya que es muy general en la normativa del país y no existen recomendaciones específicas sobre el análisis de estructuras en suelos tipo S4.	¿Qué ventajas posee la aplicación del análisis tiempo-historia con respecto al método modal espectral?	Mostrar la aplicación del método tiempo-historia para el análisis dinámico de una estructura regular en un suelo tipo S4 mediante la modelación computacional para elaborar una guía con recomendaciones en la aplicación del método en dichas circunstancias.	Comparar los resultados de los dos métodos y definir sus diferencias.	Espectro de Respuesta. Registro de aceleraciones de par a un suelo similar al S4 descrito en el CHOC-08	Guía técnica para el análisis tiempo historia.
		¿Se posee alguna guía para el análisis tiempo historia normalizado en el país?		Proponer una guía técnica con recomendaciones en la aplicación del método tiempo-historia.		

### 3.1.2 Variables de estudio

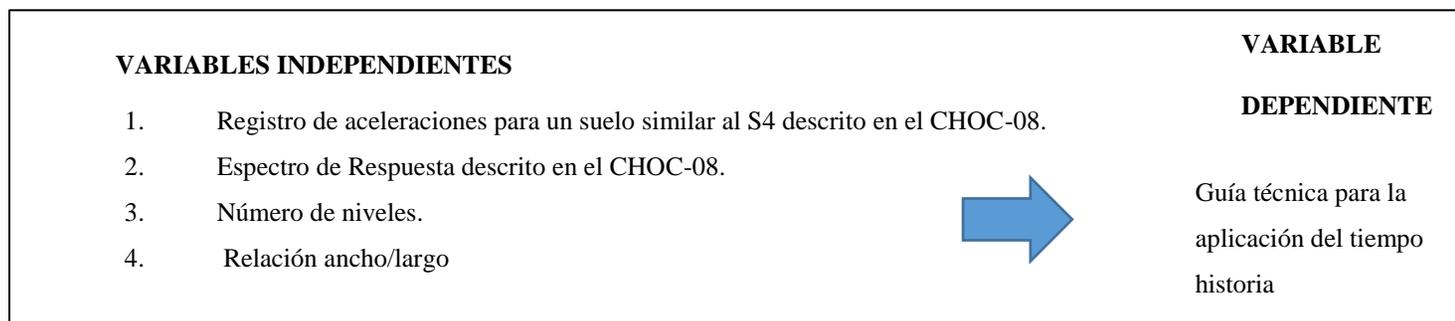


Figura 5. Esquema de Variables

### 3.1.3 Operacionalización de variables

**Tabla 2. Operacionalización de variables.**

Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Item	Unidades Categóricas	Escala
	Conceptual	Operacional					
Espectro de Respuesta descrito en el CHOC-08.	Es la herramienta matemática creada a partir de registros de aceleración de suelo existentes para aplicarse en el diseño sísmico.	Construcción de espectro elástico de diseño mediante análisis estadísticos establecidos	Diseño por sismo	Aplicación del espectro de respuesta para carga sísmica	¿Ha aplicado alguna vez el análisis con espectro de respuesta en su trabajo?	Si No	1 2
Caracterización del suelo para análisis sísmico.	Es la descripción cualitativa y cuantitativa del suelo que afecta cálculo de carga sísmica.	La caracterización se hace por medio de estudios de suelo en el sitio y se distinguen por su velocidad de onda cortante, resistencia de penetración estándar o la resistencia a corte no drenada.	Efecto del suelo en carga sísmica.	Conocimiento sobre caracterización de suelo	¿Conoce las características de un suelo tipo S4 definido en el CHOC-08?	Si No	1 2

**Continuación de la Tabla 2. Operacionalización de variables.**

Variable Independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Item	Unidades Categóricas	Escala
	Conceptual	Operacional					
Registro de aceleraciones para un suelo similar al S4 descrito en el CHOC-08.	Es la aceleración del suelo que se da un depósito con una velocidad de onda cortante menor a 150 m/s	Sismógrafo	Aplicación del método tiempo-historia	Conocimiento sobre el método tiempo-historia	¿Ha aplicado alguna vez el análisis tiempo-historia en su trabajo?	Si No	1 2
			Limitaciones	Dificultades para aplicar método tiempo historia.	¿Qué factores dificultan la aplicación del análisis tiempo-historia en su trabajo?	Falta de conocimientos sobre análisis tiempo-historia.  Falta de datos para poder desarrollar un análisis tiempo historia.  No existen casos en los que se deba ejecutar un análisis tiempo-historia.	1  2  3

### 3.2 Enfoques y métodos de la investigación

El enfoque metodológico principal empleado para la realización de esta investigación está basado en el enfoque mixto, con la tendencia hacia un enfoque cuantitativo, por lo que se analizó la respuesta de la superestructura mediante métodos matriciales a las diferentes variables identificadas y se buscó la relación que existe entre las variables dependientes e independientes mediante instrumentos estadísticos.

Los métodos aplicados incluyen analítico y sintético.

Hernández Meléndrez (2006) explica:

El análisis es un procedimiento mental mediante el cual un todo complejo se descompone en sus diversas partes y cualidades. El análisis permite la división mental del todo en sus múltiples relaciones y componentes.

En la presente investigación se observó el efecto de las variables independientes sobre la dependiente analizando cada resultado de manera individual para su posterior análisis y conclusión.

La síntesis establece mentalmente la unión entre las partes previamente analizadas y posibilita descubrir las relaciones esenciales y características generales entre ellas. La síntesis se produce sobre la base de los resultados obtenidos previamente en el análisis. Posibilita la sistematización del conocimiento. (p. 34)

También se aplica el método hipotético-deductivo.

“El método hipotético-deductivo es la vía primera de inferencias lógicas deductivas para arribar a conclusiones particulares a partir de la Hipótesis, que después se pueden comprobar experimentalmente” (Hernández Meléndrez, 2006, p. 35).

Para la investigación propuesta también se ha aplicado el método histórico pues se ha investigado la evolución y desarrollo sobre las teorías principales en el tiempo.

Hernández Meléndrez (2006) expone:

El método Histórico (tendencial), está vinculado al conocimiento de las distintas etapas de los objetos en su sucesión cronológica; para conocer la evolución y desarrollo del objeto o fenómeno de investigación se hace necesario revelar su historia, las etapas principales de su desenvolvimiento y las conexiones históricas fundamentales. Mediante este método se analiza la trayectoria concreta de la teoría, su condicionamiento a los diferentes períodos de la historia.

El método explicativo está presente en la investigación pues se pretende explicar un fenómeno (respuesta de la estructura) cuando se somete a cargas dinámicas. También se utiliza el método descriptivo en el análisis de la encuesta y los datos obtenidos de las simulaciones para encontrar tendencias.

“Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (Sampieri, R., Collado, C., Baptista, M.,2010, p. 80).

Además, al emplear un enfoque mixto en esta investigación, se aplica el método deductivo.

“Las investigaciones cualitativas se basan más en un lógica y proceso inductivo (explora y describir, y luego generar perspectivas teóricas). Van de lo particular a lo general” (Sampieri, R., Collado, C., Baptista, M.,2010, p. 9).

### **3.3 Diseño de la investigación**

Se aplicó un diseño no experimental que según Sampieri (2010) consiste en observar las consecuencias sobre la variable independiente en un ambiente no preparado por el investigador.



**Figura 6. Etapas de la Investigación**

### 3.3.1 Población meta de estudio

Para el desarrollo de la presente investigación se obtuvo información sobre el impacto social de los ingenieros civiles debidamente colegiados que hasta mediados del año 2017 eran más de 6000 agremiados (La Prensa, 19 de mayo de 2017).

La población investigada para el desarrollo analítico estructural consiste en estructuras regulares de concreto reforzado ubicadas sobre un suelo tipo S4 tal y como se describe en el Código Hondureño de la Construcción, CHOC-08. Dicho suelo representa el depósito más complicado sobre el que se puede construir según el CHOC-08.

### 3.3.2 Descripción de las muestras

Para el desarrollo del cuestionario se realizó un muestreo no probabilístico, con muestra por conveniencia, se eligió a los estudiantes de la maestría Ingeniería de Estructuras de la

Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) promoción enero del 2016, que son miembros del Colegio de Ingenieros Civiles de Honduras (CICH) y se desenvuelven en diversas empresas de ingeniería en Tegucigalpa, M.D.C., donde se logró obtener respuesta de 11 profesionales.

La muestra para el análisis de estructuras es no aleatoria y consiste en ocho edificios regulares de sistema de concreto con marcos rígidos especiales en ambos sentidos que tendrán cinco y diez niveles y planta rectangulares de diferentes distribuciones.

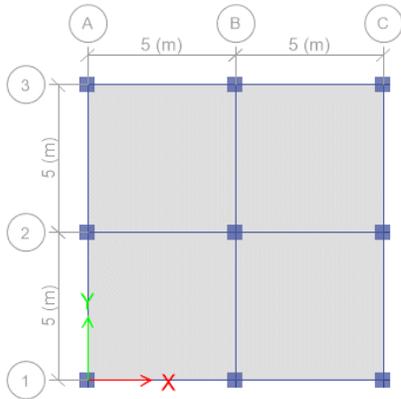
### **3.3.3 Unidad de análisis**

La unidad de análisis consiste en el Ingeniero Civil colegiado y ejerciendo la profesión. Para el desarrollo matemático del tema estructural, se utilizó una metodología de muestreo no probabilístico, donde se desarrollaron modelos de edificios de concreto con diferentes distribuciones en planta con intercolumnios de cinco metros. Verticalmente se desarrollaron edificios de estudio con cinco niveles que tendrán una altura de entrepiso de 3.5m.

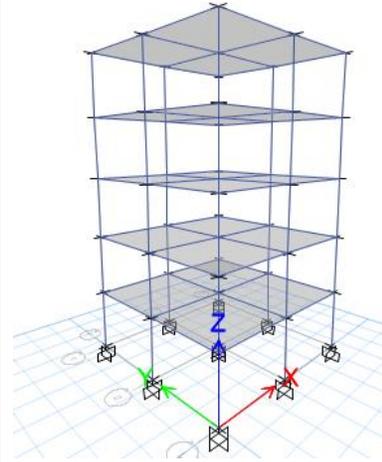
Los edificios de 10 niveles también tienen una altura de 3.5m. Todas las columnas son de 50 cm por 50 cm, las vigas poseen secciones de 30 cm por 50 cm, y las losas tendrán un espesor de 15cm.

A continuación, se tabula el resumen de los modelos estudiados:

### Modelo 1



**Figura 7. Planta de modelo 1**

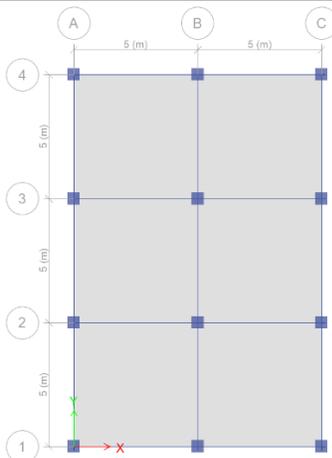


**Figura 8. Isométrico de modelo 1**

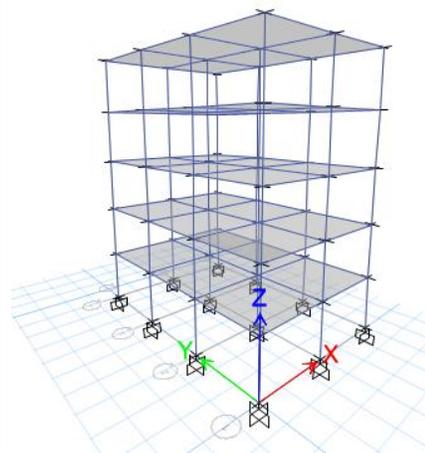
Número de niveles: 5

Relación lado largo/lado corto: 1.0

### Modelo 2



**Figura 9. Planta de modelo 2**

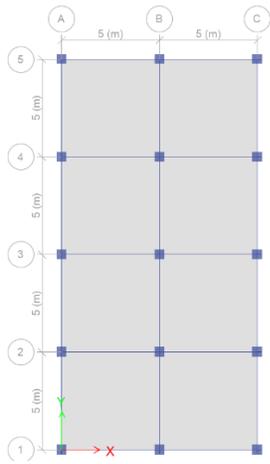


**Figura 10. Isométrico de modelo 2**

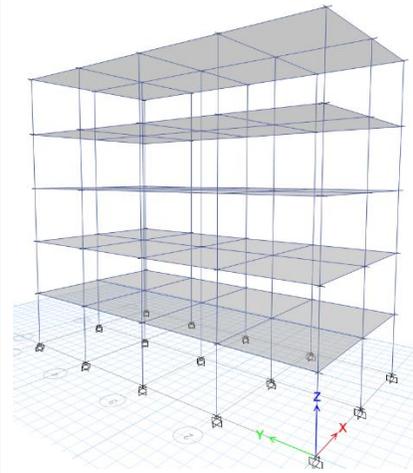
Número de niveles: 5

Relación lado largo/lado corto: 1.5

### Modelo 3



**Figura 11. Planta de modelo 3**

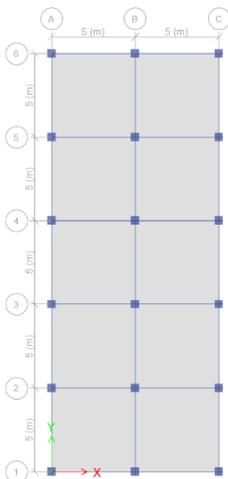


**Figura 12. Isométrico de modelo 3**

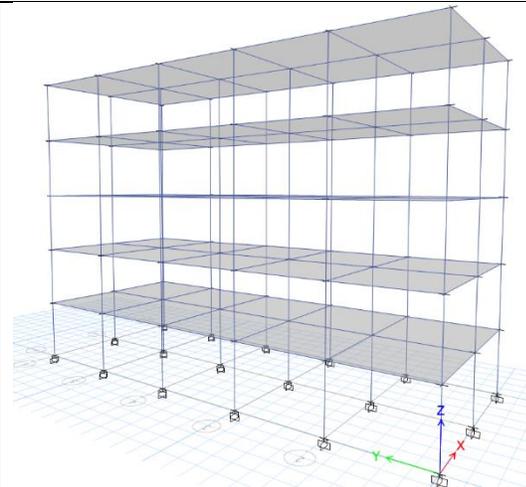
Número de niveles: 5

Relación lado largo/lado corto: 2.0

### Modelo 4



**Figura 13. Planta de modelo 4**

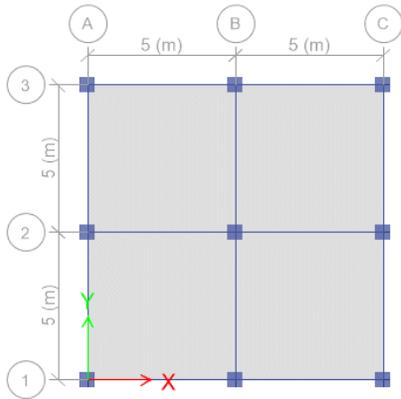


**Figura 14. Isométrico de modelo 4**

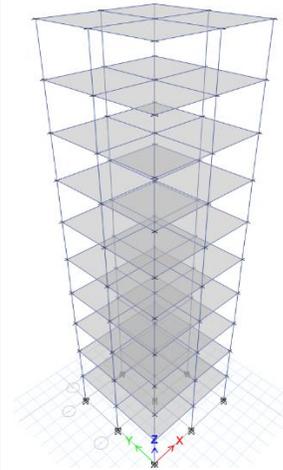
Número de niveles: 5

Relación lado largo/lado corto: 2.5

**Modelo 5**



**Figura 15. Planta de modelo 5**

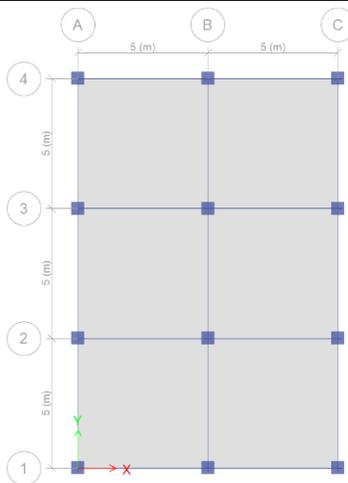


**Figura 16. Isométrico de modelo 5**

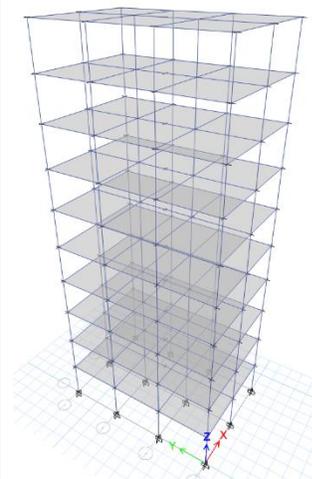
Número de niveles: 10

Relación lado largo/lado corto: 1.0

**Modelo 6**



**Figura 17. Planta de modelo 6**

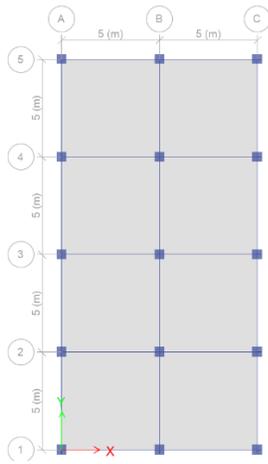


**Figura 18. Isométrico de modelo 6**

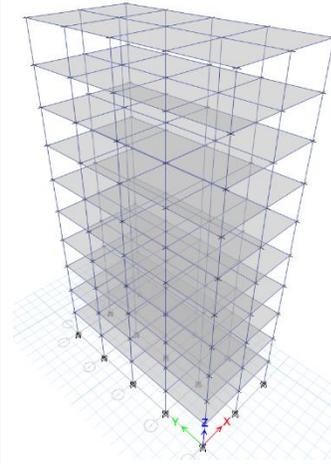
Número de niveles: 10

Relación lado largo/lado corto: 1.5

### Modelo 7



**Figura 19. Planta de modelo 7**

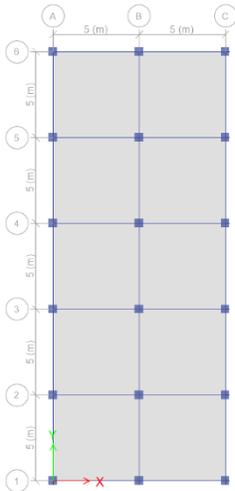


**Figura 20. Isométrico de modelo 7**

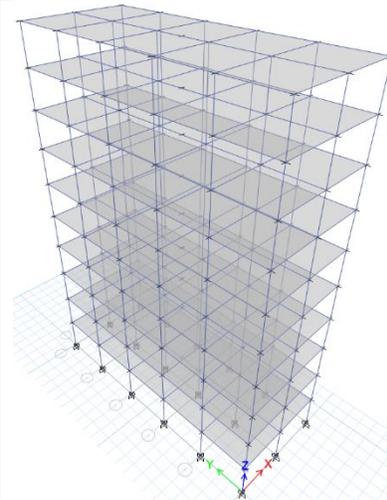
Número de niveles: 10

Relación lado largo/lado corto: 2.0

### Modelo 8



**Figura 21. Planta de modelo 8**



**Figura 22. Isométrico de modelo 8**

Número de niveles: 10

Relación lado largo/lado corto: 2.5

Las características del material empleado se pueden resumir en la siguiente tabla:

**Tabla 3. Propiedades de los materiales**

F' <sub>c</sub> del concreto	280 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad	252671.328 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Poisson	0.2
Coefficiente de expansión térmica	9.9 X 10 <sup>-6</sup>
Módulo cortante, G	105606.81 kg/cm <sup>2</sup>

### 3.3.4 Unidad de respuesta

Los resultados provenientes de cuestionarios se proporcionaron en porcentajes. Los datos provenientes de simulaciones electrónicas se proporcionaron en unidades de longitud, milímetros y para las derivas son valores adimensionales.

## 3.4 Instrumento y técnicas aplicadas

### 3.4.1 Instrumento

Las técnicas e instrumentos utilizados se seleccionaron de acuerdo con el peso o prioridad del enfoque cuantitativo aplicado. Se aplicó el cuestionario para enriquecer la investigación con información sobre la aplicación del método tiempo-historia en proyectos desarrollados en el país. Además, se aplicaron instrumentos mecánicos y electrónicos para la recolección de datos.

### 3.4.2 Técnicas

Para conocer la aplicabilidad de la investigación se aplicó como técnica la encuesta a una muestra por conveniencia de 11 ingenieros civiles que se desenvuelven en temas estructurales.

Como técnica principal para la recolección de datos para el análisis estructural se utilizó la observación de las mediciones de instrumentos electrónicos haciendo uso de ordenadores que

nos permiten obtener datos precisos que de hacerse de manera manual tomaría una cantidad considerablemente mayor de tiempo.

“Este método de recolección de datos (observación) consiste en el registro sistemático, válido y confiable de comportamientos y situaciones observables, a través de un conjunto de categorías y subcategorías” (Sampieri, 2010, p.260).

Los datos se obtuvieron de los análisis dinámicos elaborados a los modelos de estructura propuestos que posteriormente se interpretaron.

### **3.4.3 Procedimientos**

#### **3.4.3.1 Condiciones de carga**

Para esta investigación, los edificios bajo consideración están ubicados en Tegucigalpa M.D.C, Francisco Morazán. El código de referencia es el CHOC-08 para la determinación de cargas y revisión de las derivas de los modelos. Se asume una ocupación residencial de los edificios, donde la carga viva resulta de las tablas 1.1.4-1 y 1.1.5-1 Del CHOC-08, se asume una carga muerta de  $100 \text{ kg/m}^2$  en el techo y  $125 \text{ kg/m}^2$  los pisos inferiores.

#### **3.4.3.2 Cargas sísmicas**

Según el CHOC-08, hay dos tipos de análisis dinámicos que se pueden llevar a cabo, estos son: a) Análisis con espectros de respuesta, b) Análisis con acelerograma. En el primer caso se especifica un análisis modal mientras que el segundo no especifica, en esta investigación se analizarán ambos métodos con un análisis modal.

Para el análisis con espectro de respuesta se utilizaron los siguientes parámetros:

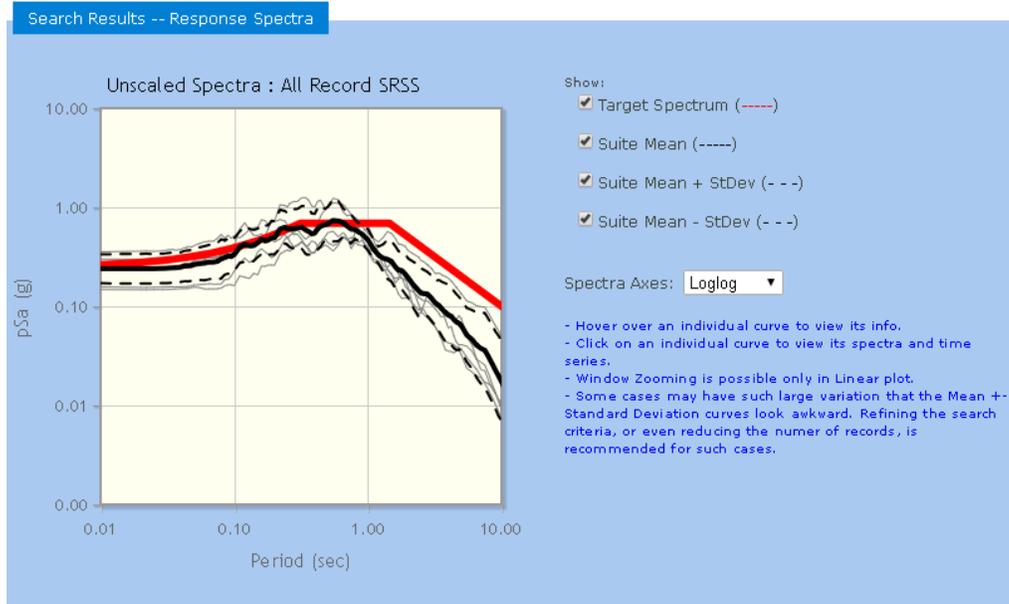
**Tabla 4. Parámetros para espectro de respuesta.**

Parámetro	Valor	Referencia
Zona sísmica	0.25	Figura 1.3.4-1 CHOC-08
Coefficiente del suelo (S)	2	Tabla 1.3.4-2 CHOC-08
Ta de espectro	0.310	Tabla 1.3.4-2 CHOC-08
Tb de espectro	1.455	Tabla 1.3.4-2 CHOC-08
Exponente e	2	Tabla 1.3.4-2 CHOC-08
Factor de importancia	1.00	Tabla 1.3.4-3 CHOC-08
Coefficiente Rw	12	Tabla 1.3.4-3 CHOC-08

Las cargas sísmicas calculadas con los parámetros anteriores se aplican en los centros de masas de cada piso sin incluir excentricidad a lo largo de los ejes principales. Debido a la falta de un sistema en el país que recolecte este tipo de datos para el análisis con acelerograma se utilizó el espectro de respuesta anterior para realizar la búsqueda con la herramienta del PEER de sismos con características similares.

Con los datos de la tabla 3 se realizó la búsqueda y se eligió el registro de la secuencia número 6959 del sismo de Darfield, Nueva Zelanda de la estación Christchurch Resthaven con factor de escala 1.0, componente horizontal 1, descripción REHSN02E.AT2. En la siguiente figura se muestra la gráfica del espectro de respuesta elástica del CHOC-08 y el espectro del sismo anteriormente mencionado donde se puede apreciar que se aproxima al primero. También se eligió el registro de la secuencia número 3934 del sismo de Tottori, Japón de la estación SMN002 con factor de escala 1.0, componente horizontal 1, descripción SMN002NS.AT2, el registro de la secuencia número 4204 del sismo de Niigata, Japón de la estación NIG014 con factor de escala 1.0, componente horizontal 1, descripción NIG014NS.AT2. Y el registro de la secuencia número

5260 del sismo de Chuetsu-oki, Japón de la estación NIG014 con factor de escala 1.0, componente horizontal 1, descripción NIG014NS.AT2.



**Figura 23. Espectro de respuesta elástica del CHOC-08 y espectro del sismo de Darfield, Nueva Zelanda.**

**Tabla 5. Parámetros para registro de acelerograma.**

Fuente: University of California, Berkeley. (2018).

Parámetros	Valores	Descripción
Tipo de falla	Todos los tipos	Tipo de mecanismo de falla
Magnitud	6.5,8.5	Restricción de rango de magnitud de momento
R ruptura (km), min, máx.	10,30	Restricción de rango de la distancia más cercana al plano de ruptura
Vs30 (m/s) min, máx.	50,150	Velocidad media de onda cortante en los 30 m superiores del sitio
No. De registros	10	Número de registros a buscar
Ordenada espectral	SRSS	
Razón de amortiguamiento	5%	
Promedio	Aritmético	
Método de escalamiento	Sin escalar	

## **3.5 Fuentes de información**

### **3.5.1 Fuentes primarias**

Las fuentes primarias para la investigación se obtuvieron mediante la observación de los datos de los análisis elaborados a través de instrumentos electrónicos. También se obtuvieron datos de las entrevistas realizadas pues confirman la viabilidad de la investigación.

### **3.5.2 Fuentes secundarias**

Las fuentes secundarias son bibliográficas, libros, investigaciones previas, documentos técnicos entre otros.

### **3.5.3 Limitantes del estudio**

Entre las limitaciones de la investigación está la aplicación solamente para estructuras de marcos especiales de concreto reforzado lo que es una fracción de la gran variedad de estructuras que se construyen.

No existe una base de datos de aceleraciones en el país que se pueda consultar por lo que la investigación se ha limitado a consultar registros de aceleración de la base de datos de la Universidad de California, Berkeley. Lo que se ha cuidado es que los registros correspondan a una velocidad de onda cortante, menor que 150 m/s que es una característica de un perfil de suelo S4 según el CHOC-08.

La presente investigación se limita al estudio de efectos traslacionales en el sentido del plano del diafragma despreciando efectos torsionales debido a excentricidades en la aplicación de la carga sísmica.

Para el presente estudio la masa acelerada que contribuye al efecto sísmico sólo incluye el peso propio y la carga permanente. No se consideró la contribución de un porcentaje de la carga transitoria.

Se limitó el estudio a un análisis tiempo historia lineal despreciando efectos de segundo orden geométricos y de materiales.

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y RESULTADOS

El presente capítulo detalla el análisis e interpretación de resultados obtenidos según las diferentes técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.

### 4.1 Resultados de la encuesta

1. ¿Cuál es el método que aplica para el diseño por sismo?

**Tabla 6. Métodos aplicados para el diseño por sismo.**

Criterio	Frecuencia	Porcentaje
Procedimiento estático para determinar las fuerzas sísmicas	2	18.2%
Procedimientos dinámicos para determinar las fuerzas sísmicas	1	9.1%
Procedimientos estáticos y dinámicos	8	72.7%
Desconoce el diseño por sismo	0	0%
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100%</b>

**Hallazgo:** Existe un interés por ejecutar procedimientos para el análisis sísmico.

**Tendencia:** Desarrollar análisis cada vez más exhaustivos que incluyan tanto procedimientos estáticos como dinámicos.

**Conclusión:** Los profesionales consultados valoran la combinación de procedimientos estáticos y dinámicos para la validación del análisis estructural que están desarrollando.

En la siguiente figura se presenta los resultados gráficamente:



**Figura 24. Resultados de la interrogante sobre métodos aplicados en el diseño por sismo.**

- ¿Ha aplicado alguna vez procedimientos dinámicos para determinar las fuerzas sísmicas?

**Tabla 7. Métodos dinámicos aplicados.**

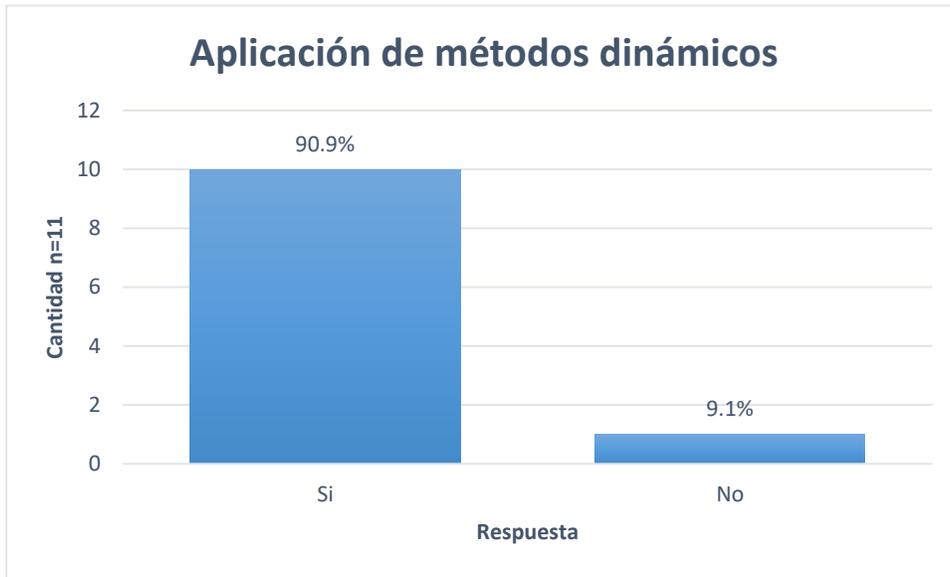
Criterio	Frecuencia	Porcentaje
Si	10	90.9%
No	1	9.1%
Total	11	100%

**Hallazgo:** Existe un interés para realizar procedimientos dinámicos para el diseño sísmico por tanto una guía técnica representaría un aporte importante al análisis estructural.

**Tendencia:** La aplicación de métodos dinámicos aumenta en los análisis estructurales por lo que se deben incluir en los análisis estructurales procedimientos dinámicos para justificar un diseño estructural.

**Conclusión:** Los profesionales consultados valoran la aplicación de métodos dinámicos para conocer el comportamiento de una estructura.

En la siguiente figura se presenta los resultados gráficamente:



**Figura 25. Resultados de interrogante sobre aplicación de métodos dinámicos.**

3. ¿Conoce las características de un suelo tipo S4 definido en el CHOC-08?

**Tabla 8. Conocimiento sobre caracterización del suelo.**

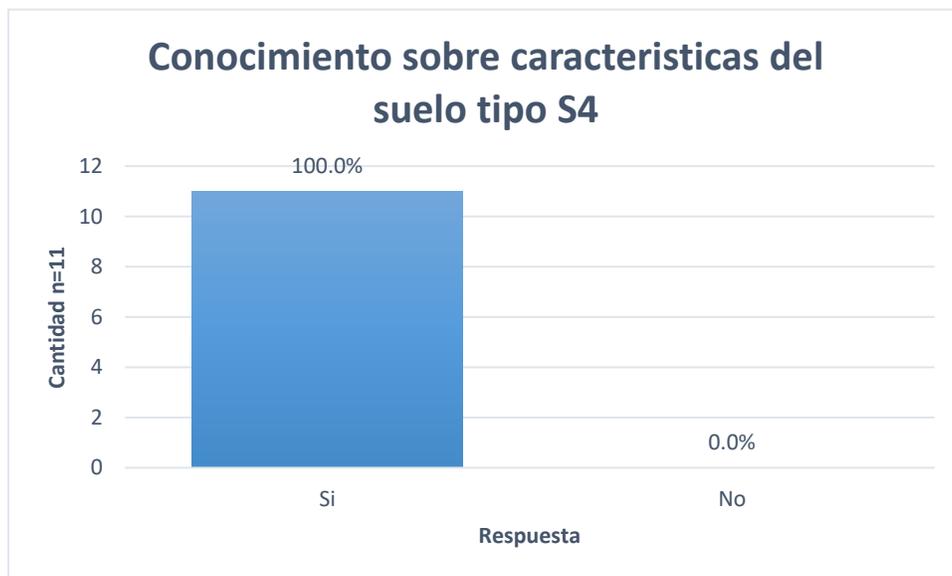
Criterio	Frecuencia	Porcentaje
Si	11	100%
No	0	0%
Total	11	100%

**Hallazgo:** La consideración de tipificar suelos según el CHOC-08 ha sido importante en el análisis sísmico.

**Tendencia:** Existe una tendencia ascendente en cuanto al conocimiento sobre los tipos de suelos.

**Conclusión:** La información existente sobre los tipos de suelos es bastante resumida y pero estudiada por los profesionales consultados por lo que existe un espacio para profundizar en el tema.

En la siguiente figura se presenta los resultados gráficamente:



**Figura 26. Resultados de interrogante sobre conocimiento de las características del suelo tipo s4.**

4. ¿Ha aplicado alguna vez el análisis con espectro de respuesta en su trabajo?

**Tabla 9. Aplicación de espectro de respuesta.**

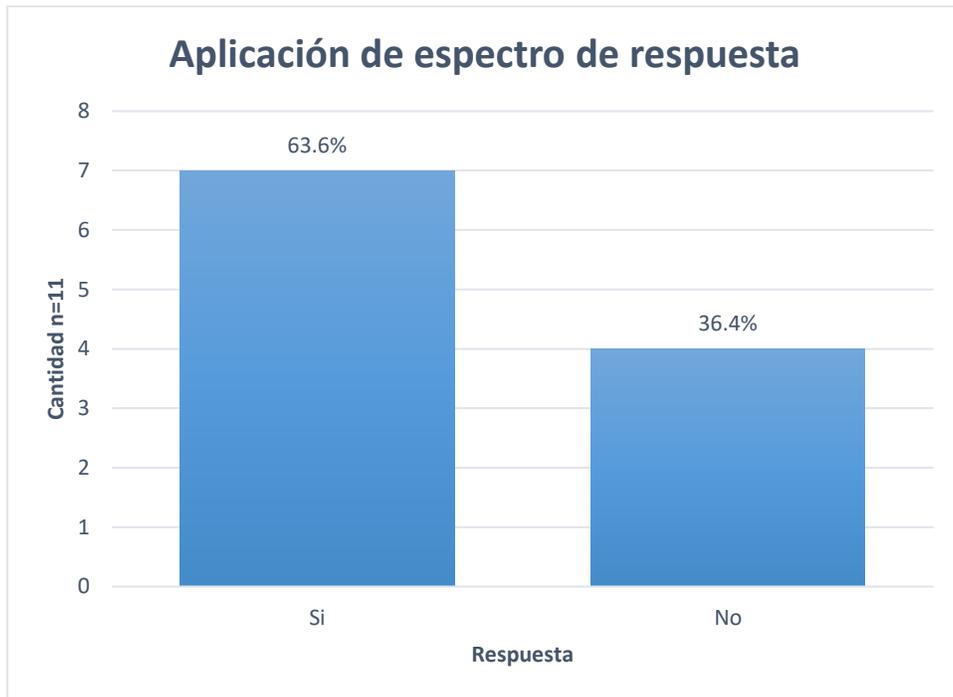
Criterio	Frecuencia	Porcentaje
Si	7	63.6%
No	4	36.4%
Total	11	100%

**Hallazgo:** El análisis con espectro de respuesta es ampliamente utilizado para el diseño sísmico.

**Tendencia:** Existe una tendencia ascendente en cuanto al conocimiento sobre análisis con espectro de respuesta.

**Conclusión:** Existe bastante conocimiento sobre el análisis con espectro de respuesta y es ampliamente utilizado como procedimiento dinámico.

En la siguiente figura se presenta los resultados gráficamente:



**Figura 27. Resultados de interrogante sobre aplicación de análisis con espectro de respuesta.**

5. ¿Ha aplicado alguna vez el análisis tiempo-historia en su trabajo?

**Tabla 10. Aplicación del análisis tiempo-historia.**

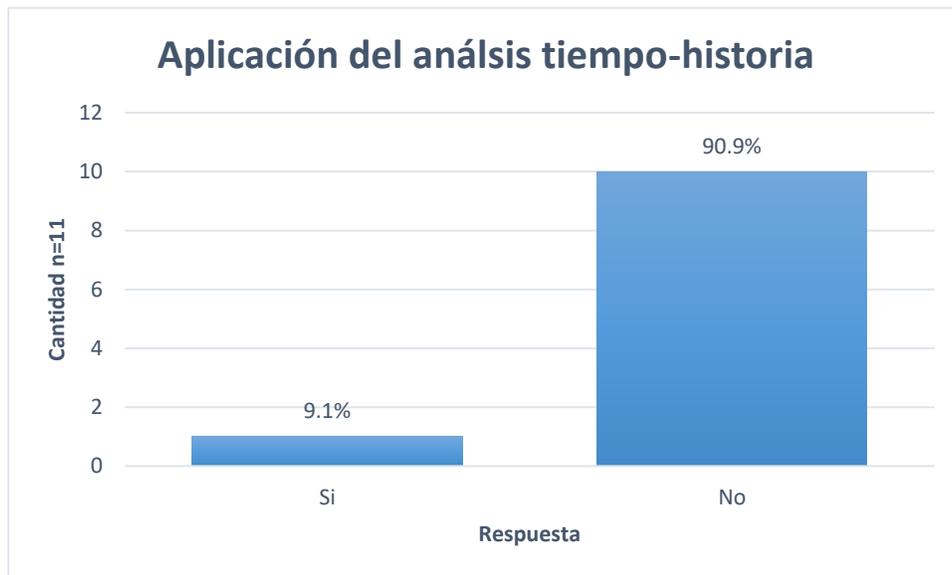
Criterio	Frecuencia	Porcentaje
Si	1	9.1%
No	10	90.9%
Total	11	100%

**Hallazgo:** El análisis tiempo historia no es utilizado para el diseño sísmico.

**Tendencia:** Existe una tendencia descendente en cuanto a la aplicación sobre análisis tiempo -historia.

**Conclusión:** El análisis tiempo historia no es tan utilizado para el diseño sísmico y por lo tanto existe una oportunidad para desarrollar el tema.

En la siguiente figura se presenta los resultados gráficamente:



**Figura 28. Resultados de interrogante sobre aplicación de análisis tiempo-historia.**

6. ¿Qué factores dificultan la aplicación del análisis tiempo-historia en su trabajo?

**Hallazgo:** Existe una falta de información que dificulta realizar un análisis tiempo-historia.

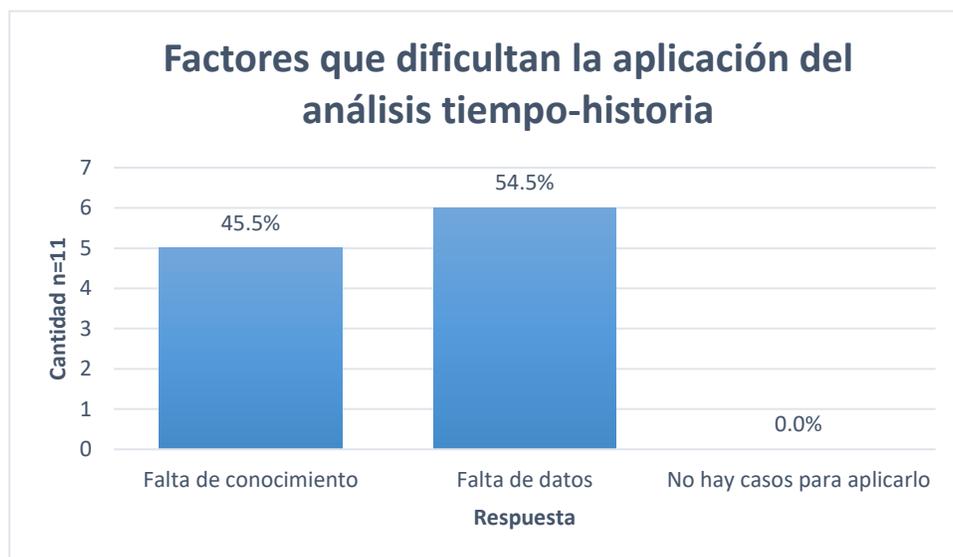
**Tendencia:** Existe una tendencia ascendente en considerar importante la falta de datos para poder desarrollar un análisis tiempo historia.

**Conclusión:** El análisis tiempo historia no es tan utilizado debido a la falta de información que hay para poder desarrollarlo por lo que resulta factible proporcionar la información necesaria para que el interesado pueda aplicar dicho análisis.

**Tabla 11. Factores que dificultan la aplicación del análisis tiempo-historia.**

Criterio	Frecuencia	Porcentaje
Falta de conocimiento sobre el análisis tiempo-historia	5	45.5%
Falta de datos para poder desarrollar un análisis tiempo historia	6	54.5%
No existen casos en los que se deba ejecutar un análisis tiempo-historia	0	0%
Total	11	100%

En la siguiente figura se presenta los resultados gráficamente:



**Figura 29. Resultados de interrogante sobre factores que dificultan la aplicación del análisis tiempo-historia.**

7. ¿Le gustaría que existiera una red de sismógrafos en el país que proporcione de manera pública la información recogida?

Criterio	Frecuencia	Porcentaje
Si	11	100%
No	0	0%
Total	11	100%

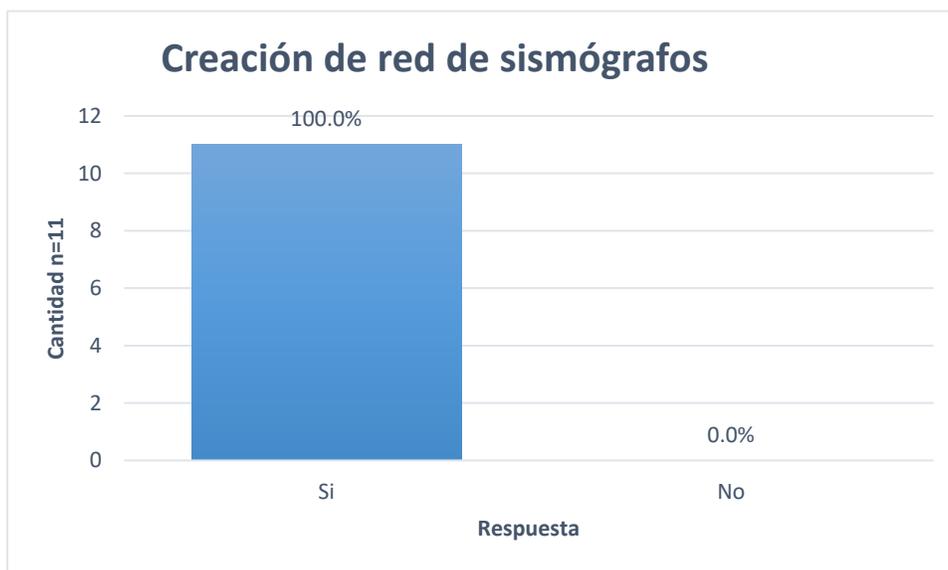
**Tabla 12. Creación de red de sismógrafos.**

**Hallazgo:** Existe interés en una red de sismógrafos en el país.

**Tendencia:** Existe una tendencia ascendente en considerar importante la creación una red de sismógrafos en el país que proporcione de manera pública la información recogida.

**Conclusión:** Los profesionales consultados expresan un interés en una red de sismógrafos que proporcione información que pueda ser consultada de manera pública por lo que resulta viable un proyecto que proponga la creación de dicha red.

En la siguiente figura se presenta los resultados gráficamente:



**Figura 30. Resultados de interrogante sobre la creación de red de sismógrafos.**

- ¿Le interesaría una guía técnica con recomendaciones en la aplicación del análisis tiempo-historia?

**Tabla 13. Guía técnica para la aplicación del análisis tiempo-historia.**

Criterio	Frecuencia	Porcentaje
Si	11	100%
No	0	0%
Total	11	100%

**Hallazgo:** Existe interés en una guía técnica con recomendaciones en la aplicación del análisis tiempo-historia.

**Tendencia:** Existe una tendencia ascendente en valorar una guía técnica para la aplicación del análisis tiempo-historia.

**Conclusión:** De acuerdo con lo consultado en la pregunta 8 se puede inferir que resulta factible el desarrollo de una guía técnica para la aplicación del análisis tiempo-historia.

En la siguiente figura se presenta los resultados gráficamente:



**Figura 31. Resultados de interrogante sobre creación de guía técnica para análisis tiempo-historia.**

## **4.2 Resultados de observaciones de modelos matemáticos**

Para el análisis estructural de los modelos matemáticos se ha utilizado el programa de análisis y diseño estructural ETABS.

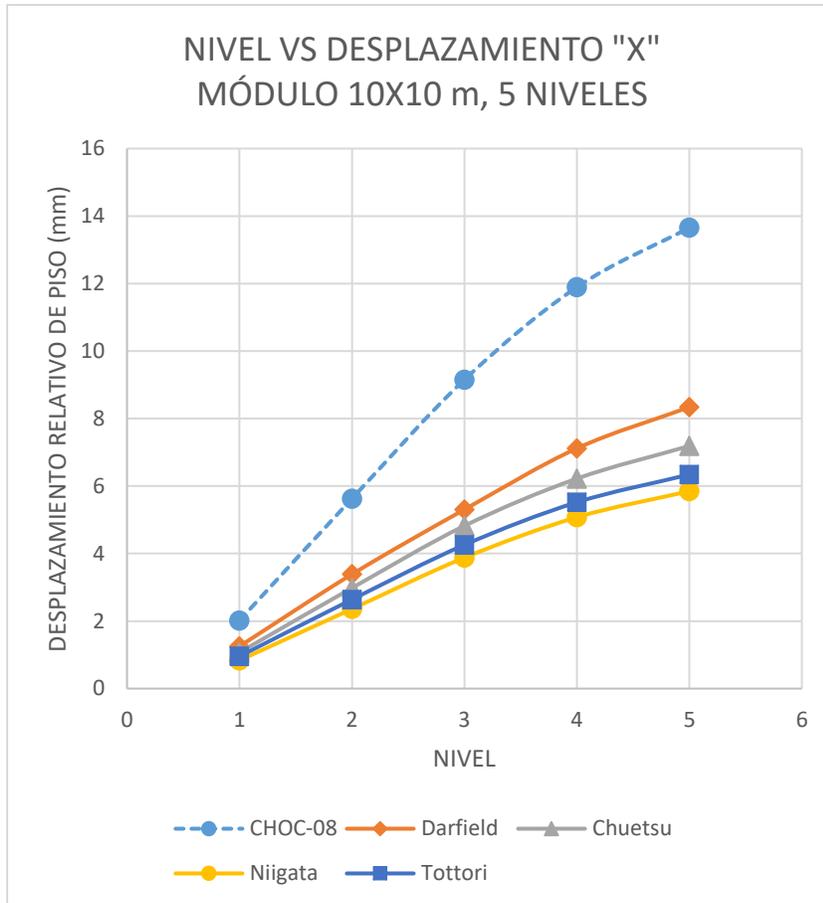
Para el análisis modal espectral se ha utilizado el espectro de respuesta descrito en el CHOC-08. Se ha supuesto para todos los casos un coeficiente de  $R_w$  igual a 12 que corresponde a marcos rígidos especiales de concreto. Puesto que la muestra es para edificios de concreto ubicados en Francisco Morazán el factor de zona sísmica,  $Z$  adquiere un valor igual a 0.25.

A continuación, se presentan los resultados por modelo matemático estructural y posteriormente se detallan las conclusiones sobre lo evaluado.

### **4.2.1 Resultados para modelos matemáticos de 5 niveles**

En esta sección se presentan en forma gráfica tanto en la dirección “x” como en la dirección “y” los desplazamientos producidos por el espectro del CHOC-08 y los cuatro acelerogramas de estudio que son el de Darfiel, Chuetsu, Niigatta y Tottori para poder apreciar los efectos de cada método de análisis.

Además, se presentan tablas con la media de los cuatro acelerogramas donde se estableció un porcentaje de variación con referencia a los resultados del espectro del CHOC-08 con el que se encontró la influencia de los parámetros del número de niveles y la relación ancho/largo de la estructura en la respuesta al movimiento del suelo.



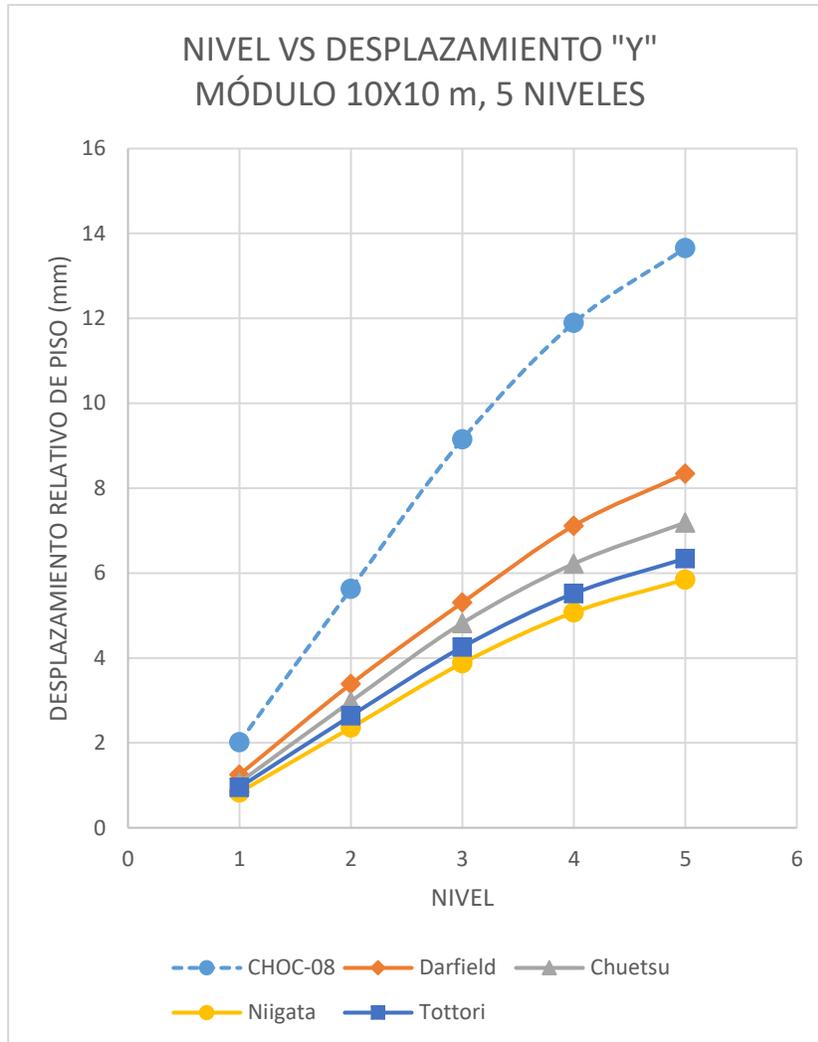
**Figura 32. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m, 5 niveles en dirección “x”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “x” del modelo 10x10m y 5 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 14. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m, 5 niveles en dirección “x”.**

Modelo estudiado:					10x10m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas				
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	Media (mm)	Mediana	Desviación estándar	Varianza	%Δ
1	1.253	1.069	0.836	0.955	2.019	1.028	1.012	0.154	0.024	49.07 %
2	3.387	2.98	2.359	2.639	5.629	2.841	2.810	0.384	0.148	49.52 %
3	5.305	4.822	3.878	4.258	9.152	4.566	4.540	0.543	0.295	50.11 %
4	7.117	6.221	5.076	5.52	11.894	5.984	5.871	0.771	0.595	49.69 %
5	8.34	7.188	5.849	6.343	13.655	6.930	6.766	0.944	0.892	49.25 %
									Media	49.53 %
									Desviación Estándar	0.36%

En la tabla anterior para el modelo 10x10m de 5 niveles en dirección “x” se encontró una media del 49.53% con una desviación estándar del 0.36% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados.



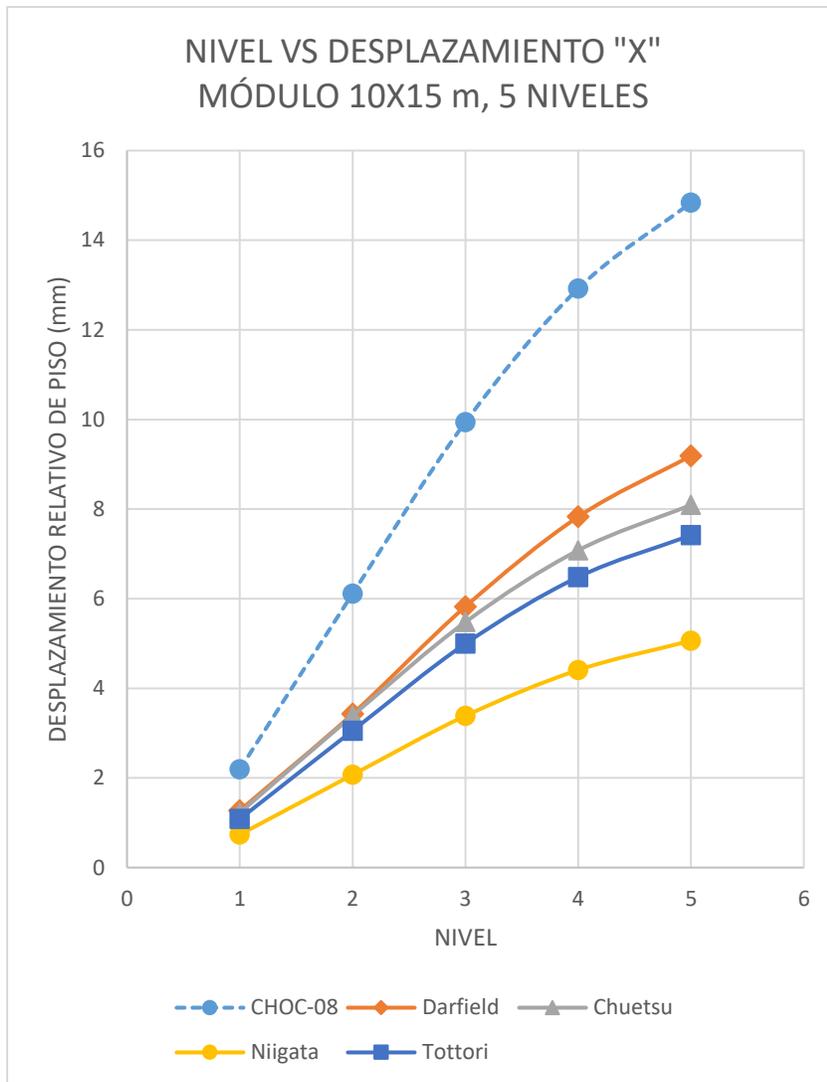
**Figura 33. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m en dirección “y”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “y” del modelo 10x10m y 5 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 15. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m, 5 niveles en dirección “y”.**

Modelo estudiado:		Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas								
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	Media (mm)	Mediana	Desviación estándar	Varianza	%Δ
1	1.253	1.069	0.836	0.955	2.019	1.028	1.012	0.154	0.024	49.07 %
2	3.387	2.98	2.359	2.639	5.629	2.841	2.810	0.384	0.148	49.52 %
3	5.305	4.822	3.878	4.258	9.152	4.566	4.540	0.543	0.295	50.11 %
4	7.117	6.221	5.076	5.52	11.894	5.984	5.871	0.771	0.595	49.69 %
5	8.34	7.188	5.849	6.343	13.655	6.930	6.766	0.944	0.892	49.25 %
									Media	49.53 %
									Desviación Estándar	0.36%

En la tabla anterior para el modelo 10x10m de 5 niveles en dirección “y” se encontró una media del 49.53% con una desviación estándar del 0.36% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados.



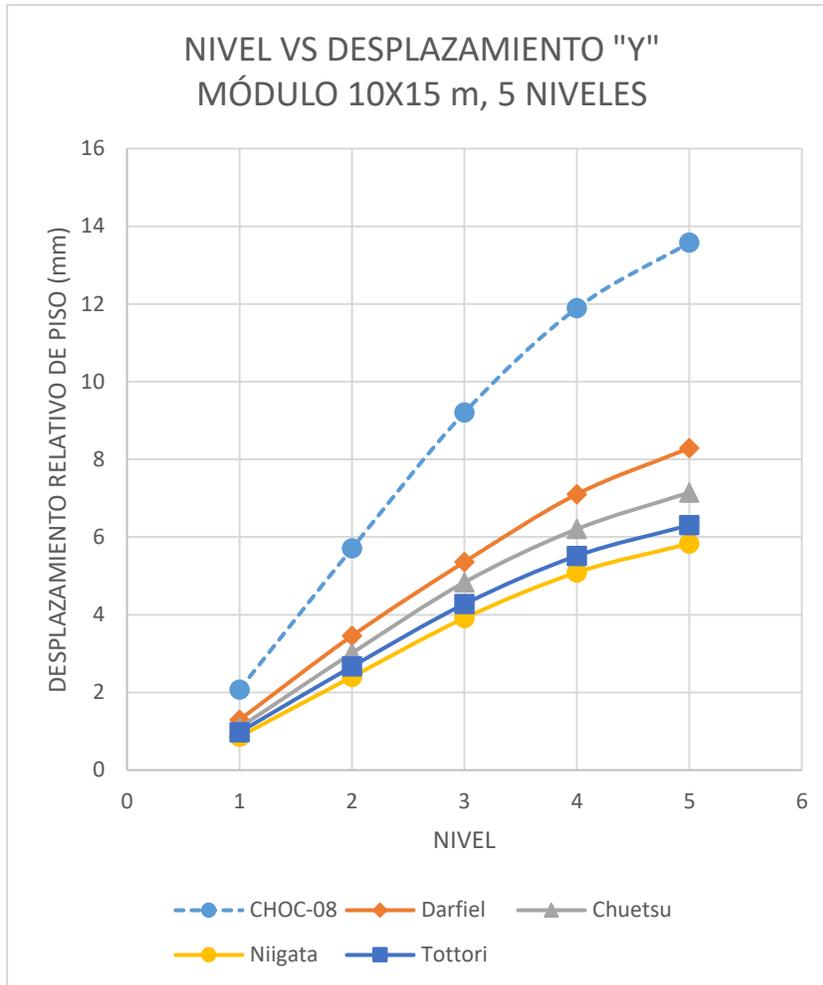
**Figura 34. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m en dirección “x”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “x” del modelo 10x15m y 5 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 16. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m, 5 niveles en dirección “x”.**

Modelo estudiado:						Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas					
		<b>10x15m</b>									
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	Media (mm)	Mediana	Desviación estándar	Varianza	%Δ	
1	1.274	1.224	0.736	1.084	2.192	1.080	1.154	0.210	0.044	50.75 %	
2	3.429	3.392	2.071	3.056	6.113	2.987	3.224	0.548	0.301	51.14 %	
3	5.825	5.479	3.386	4.996	9.939	4.922	5.238	0.934	0.873	50.48 %	
4	7.828	7.079	4.408	6.484	12.921	6.450	6.782	1.271	1.616	50.08 %	
5	9.189	8.092	5.062	7.416	14.839	7.440	7.754	1.512	2.285	49.86 %	
										Media	50.46 %
										Desviación Estándar	0.46%

En la tabla anterior para el modelo 10x15m de 5 niveles en dirección “x” se aprecia una media del 50.46% con una desviación estándar del 0.46% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:1.5 de ancho/largo incrementó ligeramente (50.46%) respecto a la razón 1:1 (49.53%) la proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



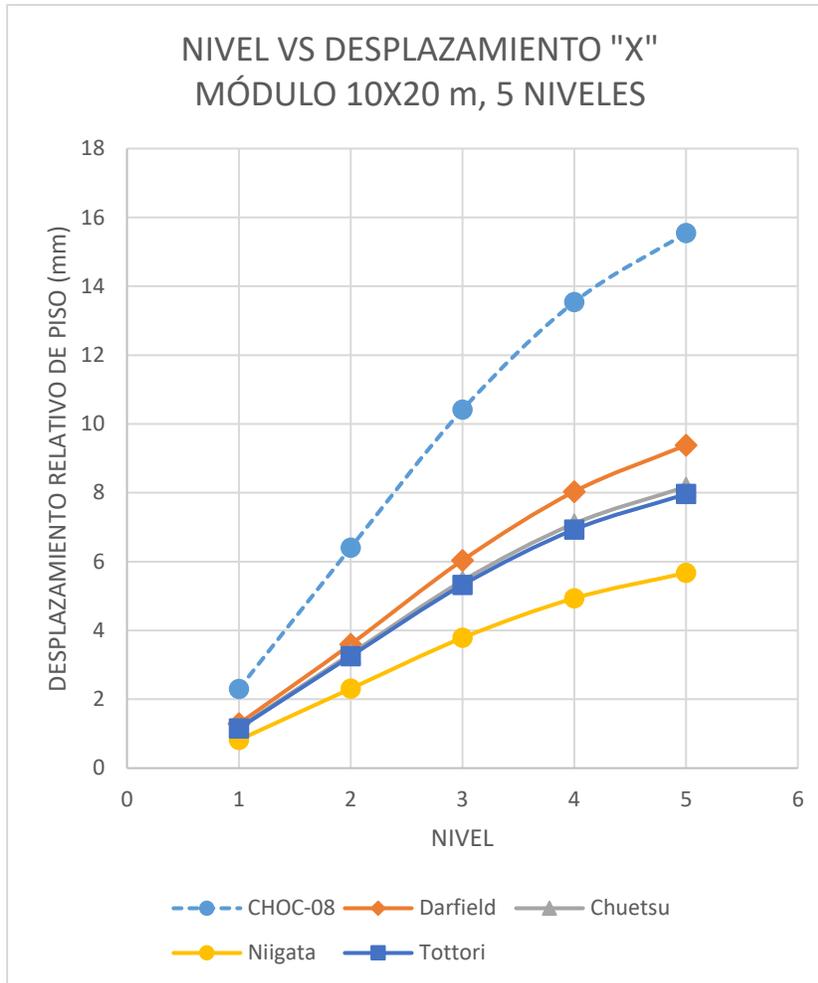
**Figura 35. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m, 5 niveles en dirección “y”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “y” del modelo 10x15m y 5 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 17. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m, 5 niveles en dirección “y”.**

Modelo estudiado:					Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas					
10x15m					Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ
1	1.294	1.094	0.862	0.976	2.073	1.057	1.035	0.160	0.026	49.04%
2	3.454	3.011	2.4	2.666	5.705	2.883	2.839	0.395	0.156	49.47%
3	5.358	4.835	3.912	4.274	9.203	4.595	4.555	0.550	0.302	50.07%
4	7.103	6.205	5.089	5.516	11.893	5.978	5.861	0.762	0.580	49.73%
5	8.29	7.145	5.831	6.306	13.579	6.893	6.726	0.934	0.872	49.24%
									Media	49.51%
									Desviación Estándar	0.37%

En la tabla anterior para el modelo 10x15m de 5 niveles en dirección “y” se aprecia una media del 49.51% con una desviación estándar del 0.37% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:1.5 de ancho/largo disminuyó de forma muy leve (49.51%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (49.53%) la proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



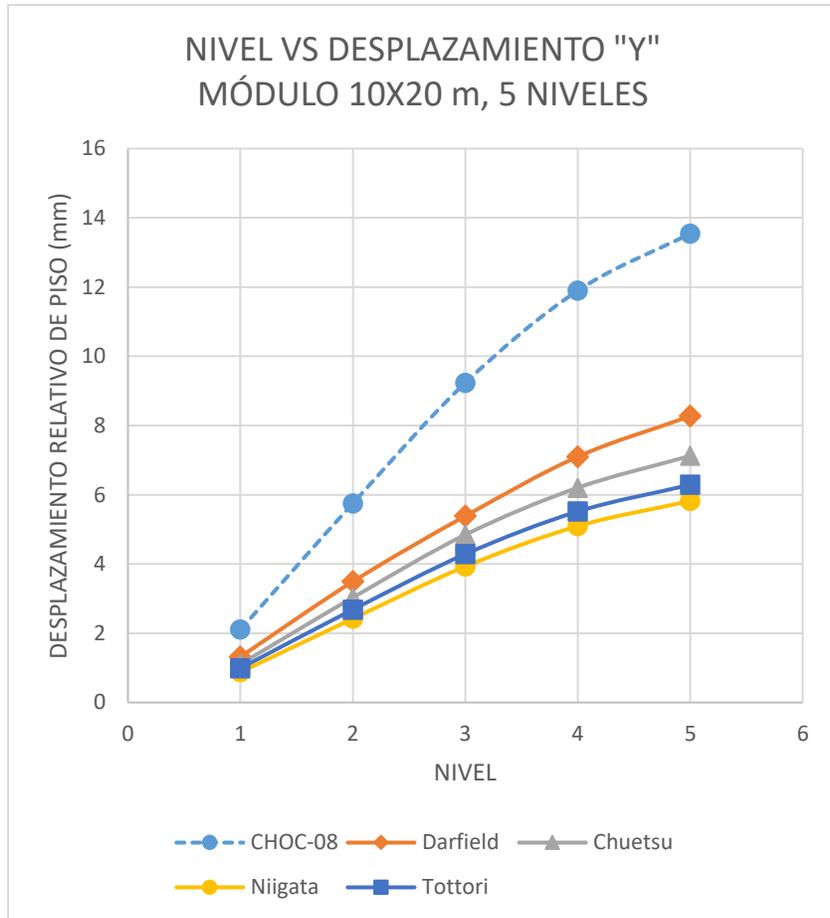
**Figura 36. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m en “x”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “x” del modelo 10x20m y 5 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 18. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m, 5 niveles en dirección “x”.**

Modelo estudiado:					Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas					
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ
1	1.29	1.181	0.818	1.156	2.297	1.111	1.169	0.177	0.031	51.62 %
2	3.597	3.316	2.308	3.252	6.403	3.118	3.284	0.485	0.236	51.30 %
3	6.037	5.44	3.783	5.32	10.412	5.145	5.380	0.832	0.692	50.59 %
4	8.035	7.104	4.934	6.931	13.538	6.751	7.018	1.130	1.277	50.13 %
5	9.383	8.173	5.671	7.962	15.549	7.797	8.068	1.342	1.801	49.85 %
									Media	50.70 %
									Desviación Estándar	0.67%

En la tabla anterior para el modelo 10x20 m de 5 niveles en dirección “x” se aprecia una media del 50.70% con una desviación estándar del 0.67% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:2 de ancho/largo incrementó ligeramente (50.70%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (49.53%) la proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



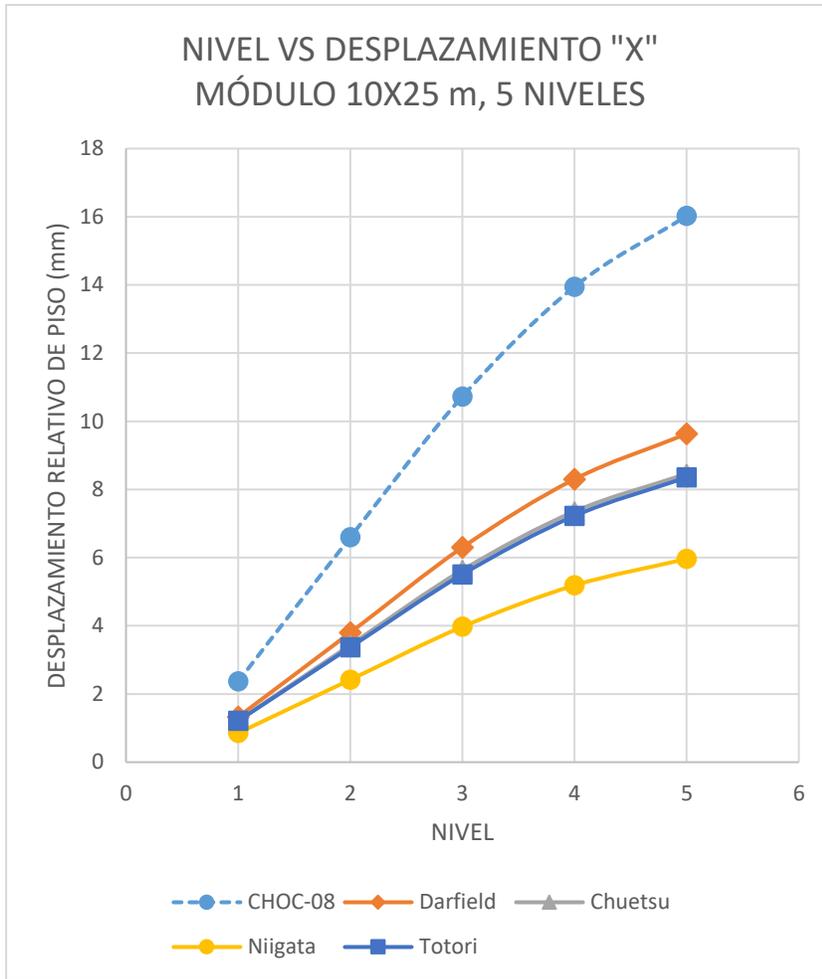
**Figura 37. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m en “y”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “y” del modelo 10x20m y 5 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 19. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m, 5 niveles en dirección “y”.**

Modelo estudiado:					10x20m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas					
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ	
1	1.319	1.109	0.876	0.99	2.105	1.074	1.050	0.164	0.027	49.00%	
2	3.493	3.03	2.421	2.683	5.75	2.907	2.857	0.402	0.161	49.45%	
3	5.386	4.847	3.929	4.286	9.234	4.612	4.567	0.554	0.307	50.05%	
4	7.1	6.203	5.095	5.517	11.897	5.979	5.860	0.759	0.575	49.75%	
5	8.271	7.124	5.82	6.289	13.544	6.876	6.707	0.931	0.867	49.23%	
									Media	49.50%	
									Desviación Estándar	0.37%	

En la tabla anterior para el modelo 10x20m de 5 niveles en dirección “y” se aprecia una media del 49.50% con una desviación estándar del 0.37% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:2 de ancho/largo disminuyó de forma muy leve (49.50%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (49.53%) la proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



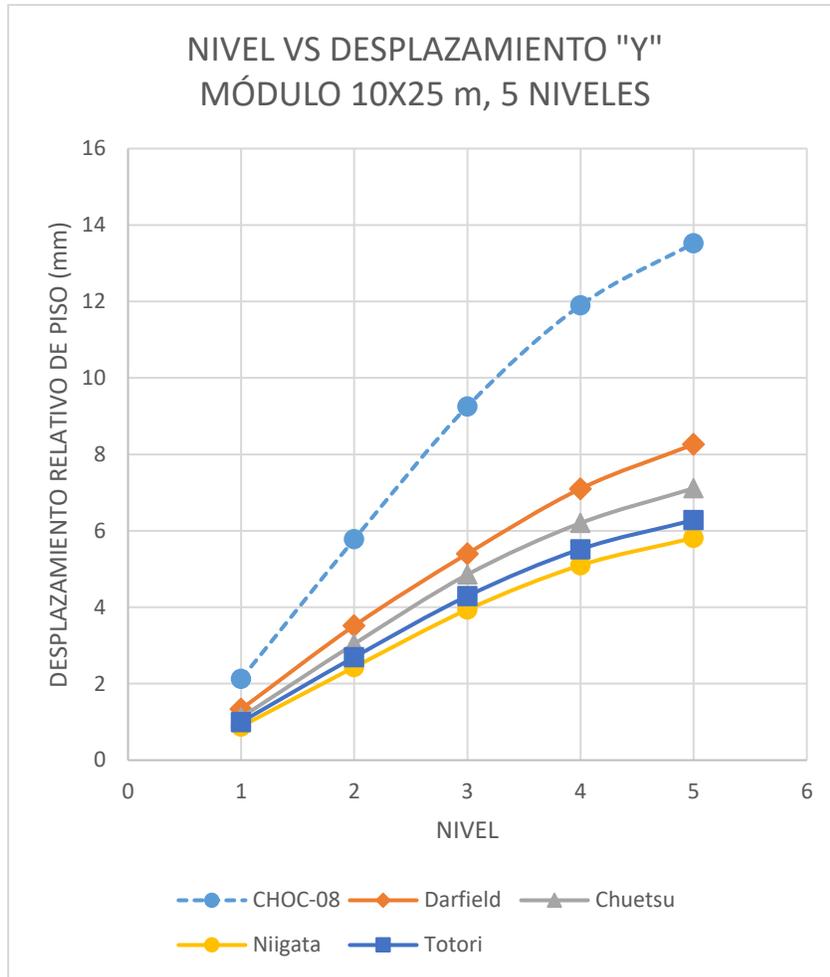
**Figura 38. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m en “x”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “x” del modelo 10x25m y 5 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 20. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m, 5 niveles en dirección “x”.**

Modelo estudiado:		Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas									
		10x25m									
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ	
1	1.327	1.218	0.855	1.209	2.366	1.152	1.214	0.178	0.032	51.30 %	
2	3.799	3.436	2.418	3.37	6.596	3.256	3.403	0.511	0.261	50.64 %	
3	6.301	5.634	3.972	5.509	10.727	5.354	5.572	0.853	0.727	50.09 %	
4	8.301	7.353	5.186	7.225	13.948	7.016	7.289	1.135	1.289	49.70 %	
5	9.63	8.458	5.963	8.355	16.023	8.102	8.407	1.332	1.775	49.44 %	
										Media	50.23 %
										Desviación Estándar	0.67%

En la tabla anterior para el modelo 10x25 m de 5 niveles en dirección “x” se aprecia una media del 50.23% con una desviación estándar del 0.67% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:2 de ancho/largo incrementó ligeramente (50.23%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (49.53%) la proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



**Figura 39. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m en “y”.**

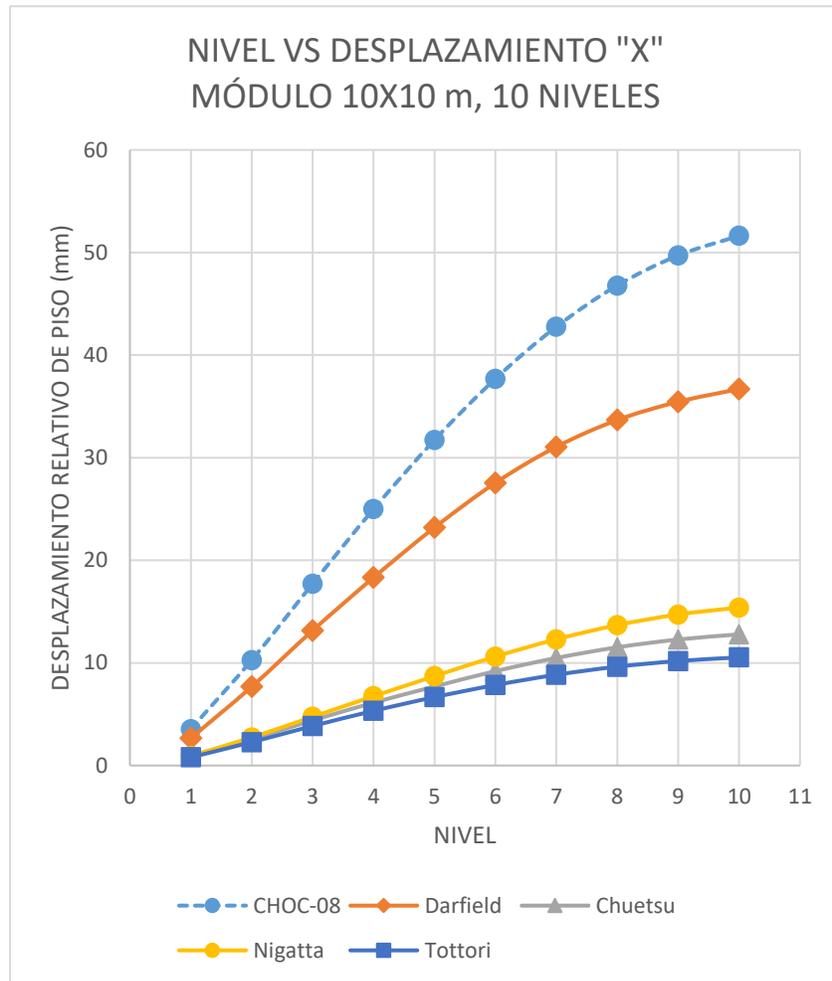
En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “y” del modelo 10x25m y 5 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 21. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m, 5 niveles en dirección “y”.**

Modelo estudiado:					10x25m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas				
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ
1	1.336	1.119	0.884	1	2.126	1.085	1.060	0.167	0.028	48.98%
2	3.519	3.043	2.433	2.695	5.779	2.923	2.869	0.407	0.165	49.43%
3	5.403	4.856	3.939	4.294	9.255	4.623	4.575	0.557	0.310	50.05%
4	7.101	6.203	5.099	5.52	11.901	5.981	5.862	0.757	0.574	49.75%
5	8.261	7.112	5.813	6.28	13.525	6.867	6.696	0.930	0.865	49.23%
									Media	49.49%
									Desviación Estándar	0.38%

En la tabla anterior para el modelo 10x25m de 5 niveles en dirección “y” se aprecia una media del 49.49% con una desviación estándar del 0.38% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:2 de ancho/largo disminuyó de forma muy leve (49.49%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (49.53%) la proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.

#### 4.2.2 Resultados para modelos matemáticos de 10 niveles



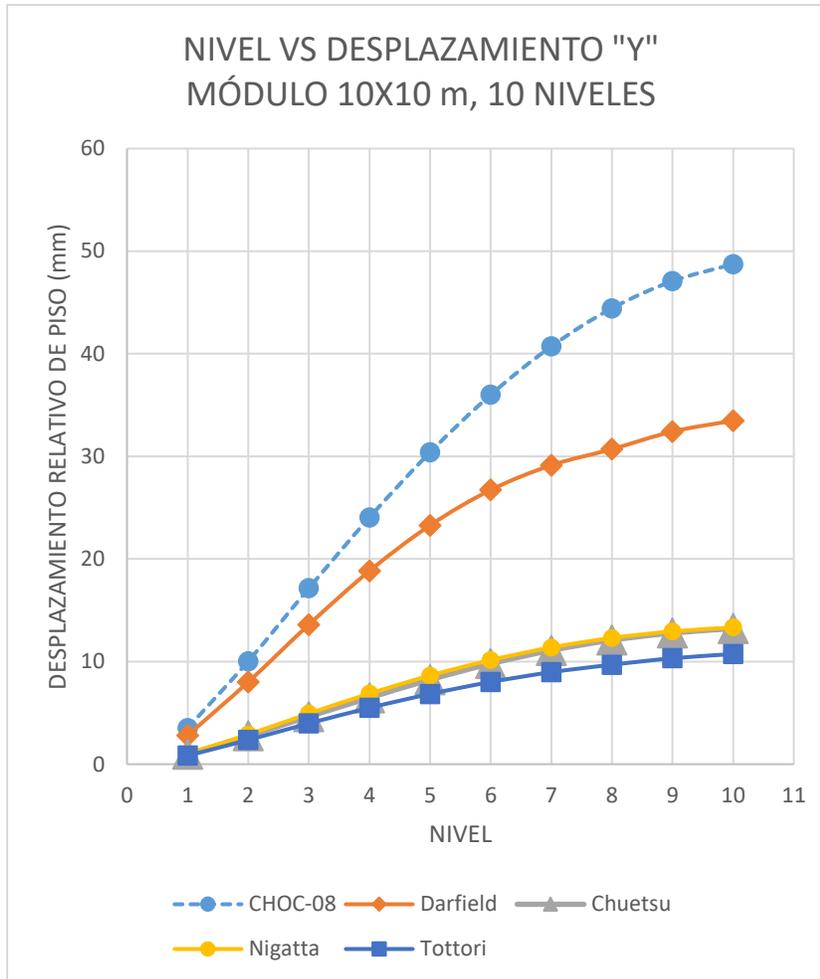
**Figura 40. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m en “x”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “x” del modelo 10x10m y 10 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 22. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m, 10 niveles en dirección “x”.**

Modelo estudiado:					10x10m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas					
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	media na	Desviación estándar	varianza	%Δ	
1	2.66	0.894	0.941	0.8	3.553	1.324	0.918	0.773	0.598	62.74 %	
2	7.684	2.572	2.736	2.279	10.282	3.818	2.654	2.238	5.009	62.87 %	
3	13.162	4.393	4.746	3.851	17.718	6.538	4.570	3.838	14.727	63.10 %	
4	18.321	6.123	6.751	5.328	24.99	9.131	6.437	5.330	28.408	63.46 %	
5	23.192	7.696	8.706	6.663	31.722	11.564	8.201	6.752	45.590	63.55 %	
6	27.549	9.196	10.616	7.843	37.697	13.801	9.906	7.998	63.964	63.39 %	
7	31.058	10.481	12.3	8.844	42.759	15.671	11.391	8.968	80.417	63.35 %	
8	33.671	11.518	13.686	9.631	46.787	17.127	12.602	9.659	93.299	63.39 %	
9	35.45	12.281	14.72	10.185	49.715	18.159	13.501	10.111	102.235	63.47 %	
10	36.694	12.783	15.403	10.537	51.629	18.854	14.093	10.443	109.051	63.48 %	
										Media	63.28 %
										Desviación Estándar	0.26%

En la tabla anterior para el modelo 10x10m de 10 niveles en dirección “x” se encontró una media del 63.28% con una desviación estándar del 0.26% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados.



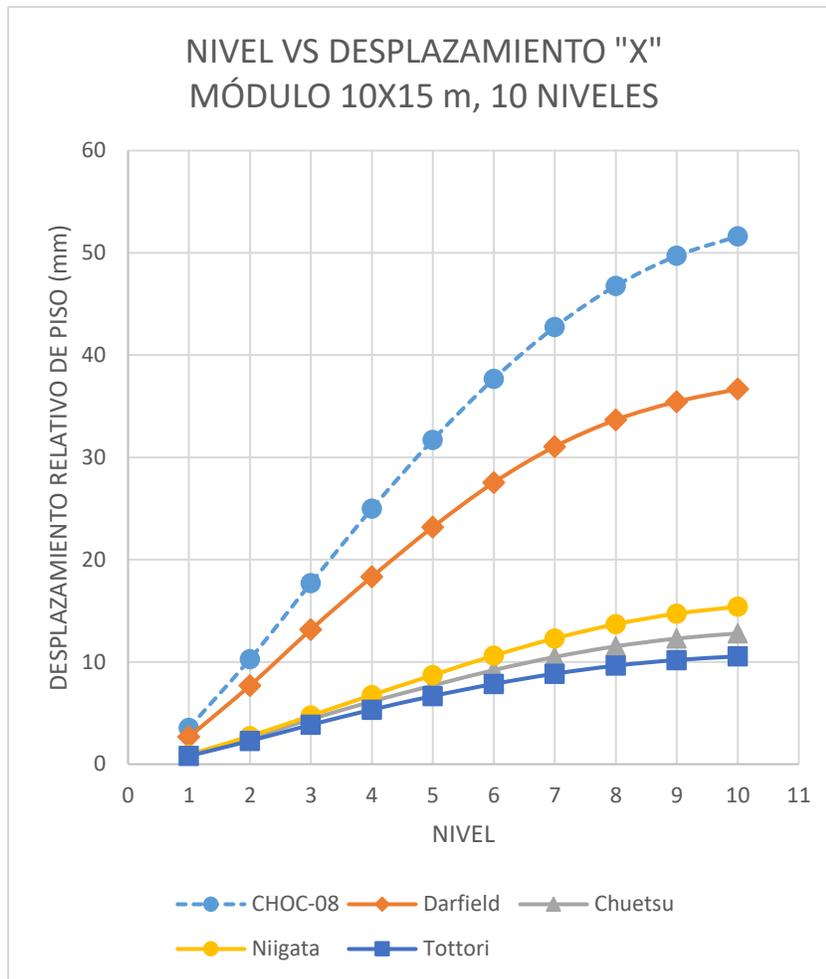
**Figura 41. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m en “y”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “y” del modelo 10x10m y 10 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 23. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx10m, 10 niveles en dirección “y”.**

Modelo estudiado:					10x10m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas				
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	% $\Delta$
1	2.811	0.974	1.017	0.834	3.516	1.409	0.996	0.812	0.660	59.93%
2	8.007	2.755	2.895	2.355	10.034	4.003	2.825	2.320	5.383	60.11%
3	13.604	4.636	4.929	3.97	17.145	6.785	4.783	3.952	15.621	60.43%
4	18.832	6.463	6.877	5.487	24.045	9.415	6.670	5.460	29.816	60.85%
5	23.279	8.232	8.635	6.842	30.397	11.747	8.434	6.691	44.771	61.35%
6	26.724	9.792	10.145	8.008	36.002	13.667	9.969	7.582	57.482	62.04%
7	29.131	11.089	11.372	8.964	40.717	15.139	11.231	8.132	66.125	62.82%
8	30.702	12.088	12.3	9.691	44.43	16.195	12.194	8.438	71.198	63.55%
9	32.416	12.783	12.937	10.321	47.077	17.114	12.860	8.895	79.125	63.65%
10	33.481	13.212	13.327	10.732	48.737	17.688	13.270	9.177	84.214	63.71%
									Media	61.84%
									Desviación Estándar	1.43%

En la tabla anterior para el modelo 10x10m de 10 niveles en dirección “y” se encontró una media del 61.84% con una desviación estándar del 1.43% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados.



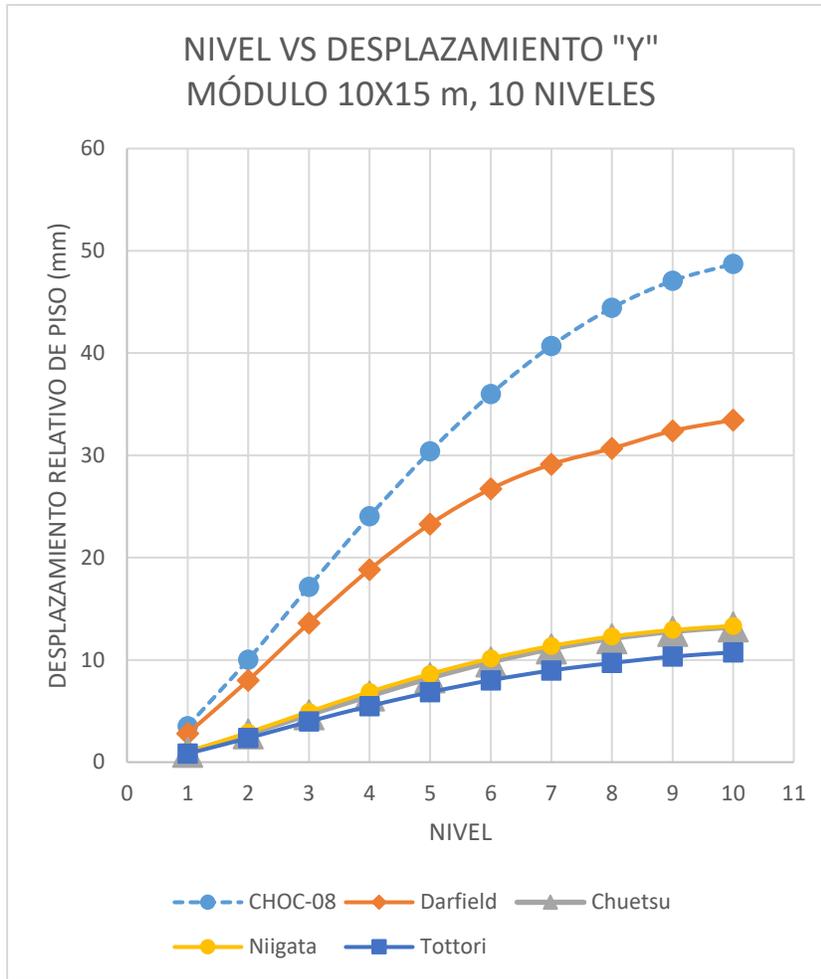
**Figura 42. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m en “x”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “x” del modelo 10x15m y 10 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 24. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m, 10 niveles en dirección “x”.**

Modelo estudiado:					10x15m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas					
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ	
1	2.661	0.895	0.942	0.8	3.552	1.325	0.919	0.773	0.598	62.71 %	
2	7.686	2.575	2.738	2.28	10.279	3.820	2.657	2.238	5.010	62.84 %	
3	13.166	4.397	4.751	3.852	17.713	6.542	4.574	3.838	14.731	63.07 %	
4	18.326	6.129	6.758	5.33	24.984	9.136	6.444	5.330	28.410	63.43 %	
5	23.189	7.697	8.707	6.665	31.714	11.565	8.202	6.750	45.564	63.54 %	
6	27.545	9.197	10.617	7.845	37.688	13.801	9.907	7.995	63.927	63.38 %	
7	31.054	10.483	12.301	8.846	42.749	15.671	11.392	8.965	80.372	63.34 %	
8	33.667	11.521	13.686	9.632	46.776	17.127	12.604	9.657	93.254	63.39 %	
9	35.447	12.285	14.72	10.187	49.703	18.160	13.503	10.109	102.190	63.46 %	
10	36.674	12.787	15.403	10.538	51.616	18.851	14.095	10.433	108.857	63.48 %	
										Media	63.26 %
										Desviación Estándar	0.27%

En la tabla anterior para el modelo 10x15 m de 10 niveles en dirección “x” se aprecia una media del 63.26% con una desviación estándar del 0.27% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:2 de ancho/largo disminuyó ligeramente (63.26%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (63.28%) la proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



**Figura 43. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m en “y”.**

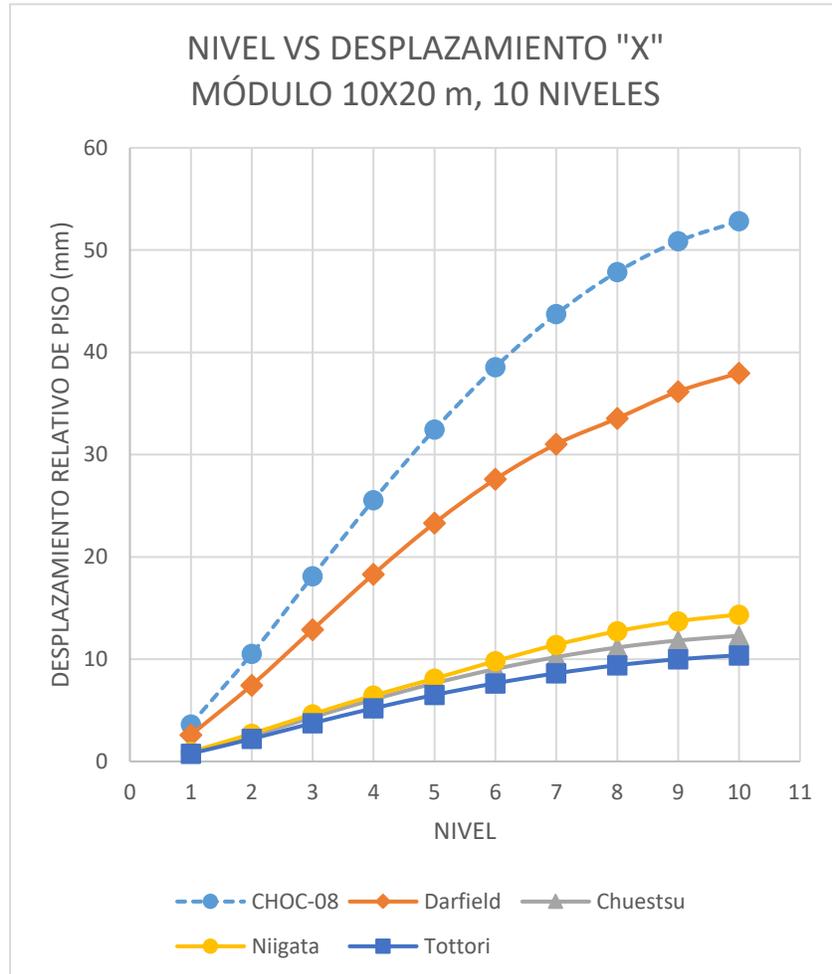
En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “y” del modelo 10x15m y 10 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 25. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx15m, 10 niveles en dirección “y”.**

Modelo estudiado:					10x15m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas				
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ
1	2.81	0.974	1.016	0.833	3.515	1.408	0.995	0.812	0.660	59.94 %
2	8.006	2.754	2.893	2.354	10.032	4.002	2.824	2.320	5.384	60.11 %
3	13.601	4.634	4.926	3.969	17.141	6.783	4.780	3.952	15.618	60.43 %
4	18.828	6.461	6.872	5.486	24.039	9.412	6.667	5.460	29.809	60.85 %
5	23.274	8.229	8.628	6.841	30.389	11.743	8.429	6.690	44.761	61.36 %
6	26.717	9.789	10.137	8.007	35.993	13.663	9.963	7.580	57.459	62.04 %
7	29.123	11.084	11.363	8.963	40.707	15.133	11.224	8.130	66.099	62.82 %
8	30.678	12.083	12.291	9.691	44.419	16.186	12.187	8.429	71.052	63.56 %
9	32.394	12.778	12.927	10.323	47.065	17.106	12.853	8.887	78.982	63.66 %
10	33.459	13.207	13.316	10.734	48.725	17.679	13.262	9.169	84.069	63.72 %
										61.85 %
										Media
										Desviación Estándar
										1.44%

En la tabla anterior para el modelo 10x15m de 10 niveles en dirección “y” se aprecia una media del 61.85% con una desviación estándar del 1.44% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:1.5 de ancho/largo disminuyó de forma muy leve (61.85%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (61.84%) la

proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



**Figura 44. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m en “x”.**

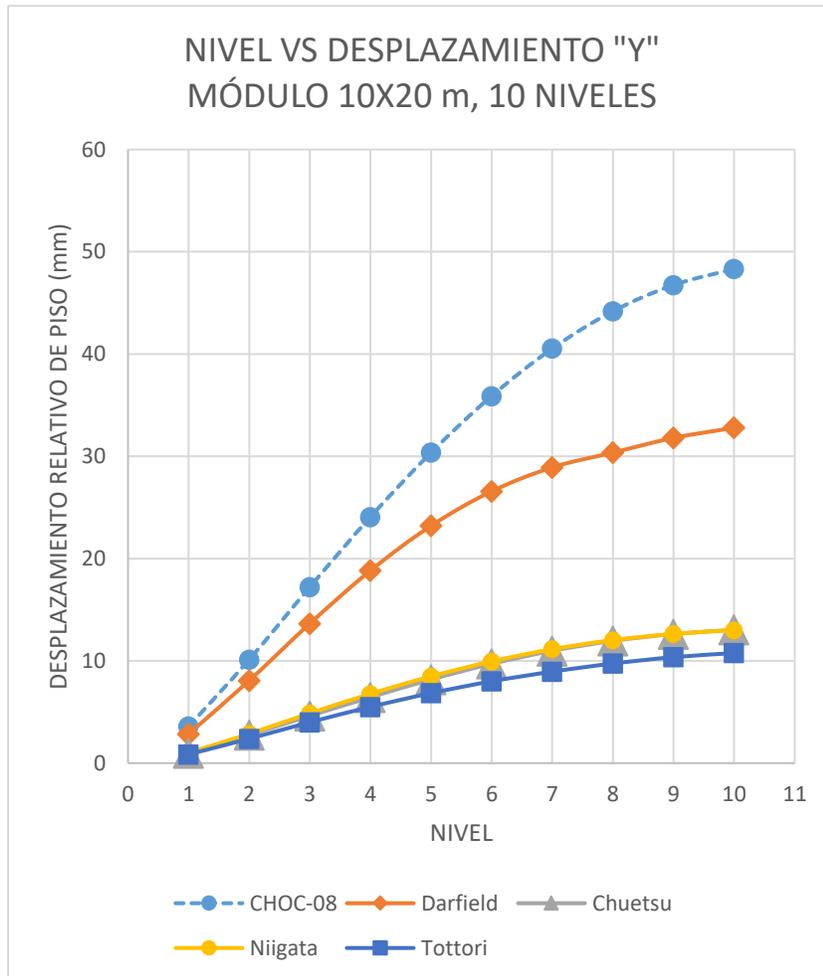
En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “x” del modelo 10x20m y 10 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 26. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m, 10 niveles en dirección “x”.**

Modelo estudiado:					10x20m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas				
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ
1	2.584	0.869	0.941	0.771	3.637	1.291	0.905	0.749	0.561	64.50 %
2	7.463	2.511	2.707	2.207	10.523	3.722	2.609	2.167	4.697	64.63 %
3	12.902	4.315	4.622	3.747	18.13	6.397	4.469	3.769	14.206	64.72 %
4	18.316	6.058	6.449	5.198	25.569	9.005	6.254	5.395	29.101	64.78 %
5	23.304	7.646	8.098	6.502	32.454	11.388	7.872	6.905	47.673	64.91 %
6	27.601	9.037	9.818	7.644	38.566	13.525	9.428	8.164	66.651	64.93 %
7	31.034	10.207	11.415	8.618	43.745	15.319	10.811	9.127	83.310	64.98 %
8	33.549	11.142	12.732	9.408	47.868	16.708	11.937	9.794	95.925	65.10 %
9	36.179	11.83	13.716	9.993	50.868	17.930	12.773	10.618	112.747	64.75 %
10	37.982	12.284	14.367	10.38	52.831	18.753	13.326	11.191	125.237	64.50 %
									Media	64.78 %
									Desviación Estándar	0.19%

En la tabla anterior para el modelo 10x20 m de 10 niveles en dirección “x” se aprecia una media del 64.78% con una desviación estándar del 0.19% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:2 de ancho/largo incrementó levemente (64.78%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (63.28%) la proporción en

la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



**Figura 45. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m en “y”.**

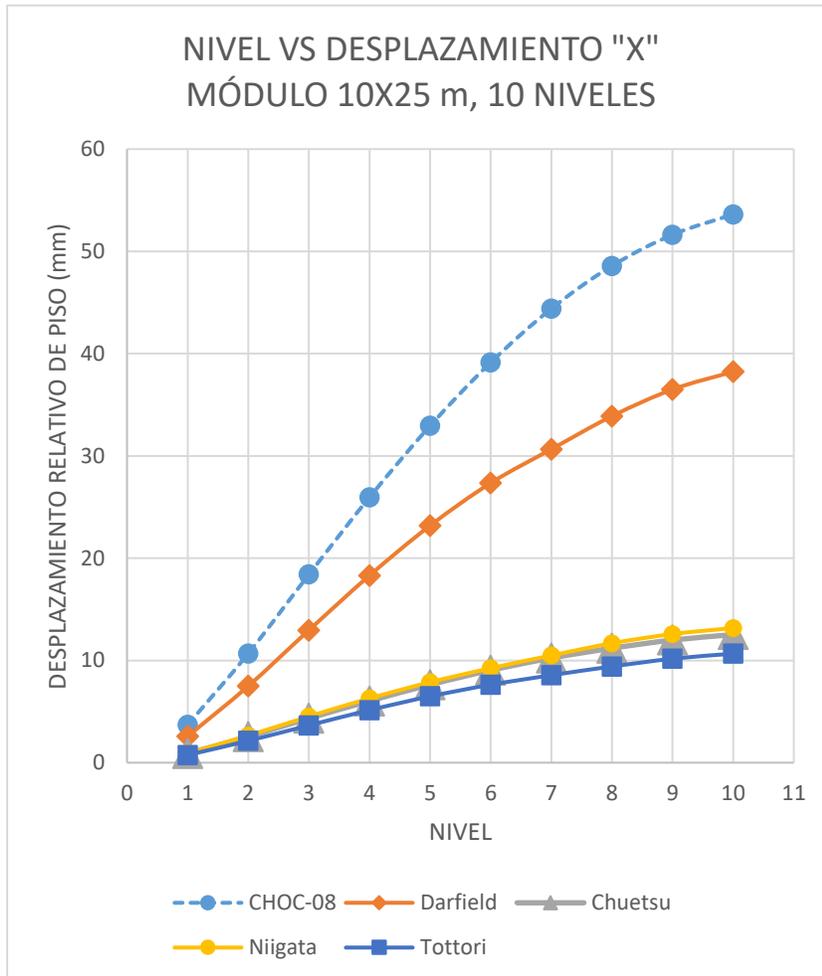
En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “y” del modelo 10x20m y 10 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 27. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m, 10 niveles en dirección “y”.**

Modelo estudiado:					10x20m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas					
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ	
1	2.857	0.983	1.018	0.853	3.577	1.428	1.001	0.827	0.685	60.09 %	
2	8.073	2.759	2.875	2.388	10.126	4.024	2.817	2.345	5.498	60.26 %	
3	13.648	4.62	4.872	3.999	17.22	6.785	4.746	3.975	15.802	60.60 %	
4	18.827	6.436	6.776	5.503	24.075	9.386	6.606	5.471	29.931	61.02 %	
5	23.208	8.177	8.487	6.844	30.365	11.679	8.332	6.685	44.687	61.54 %	
6	26.581	9.71	9.953	8.001	35.901	13.561	9.832	7.554	57.070	62.23 %	
7	28.919	10.978	11.139	8.948	40.543	14.996	11.059	8.085	65.362	63.01 %	
8	30.367	11.951	12.031	9.739	44.181	16.022	11.991	8.333	69.439	63.74 %	
9	31.798	12.621	12.636	10.362	46.75	16.854	12.629	8.677	75.295	63.95 %	
10	32.794	13.035	12.996	10.763	48.324	17.397	13.016	8.937	79.868	64.00 %	
										Media	62.04 %
										Desviación Estándar	1.47%

En la tabla anterior para el modelo 10x20m de 10 niveles en dirección “y” se aprecia una media del 62.04% con una desviación estándar del 1.47% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:2 de ancho/largo incrementó de forma muy leve (62.04%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (61.84%) la

proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



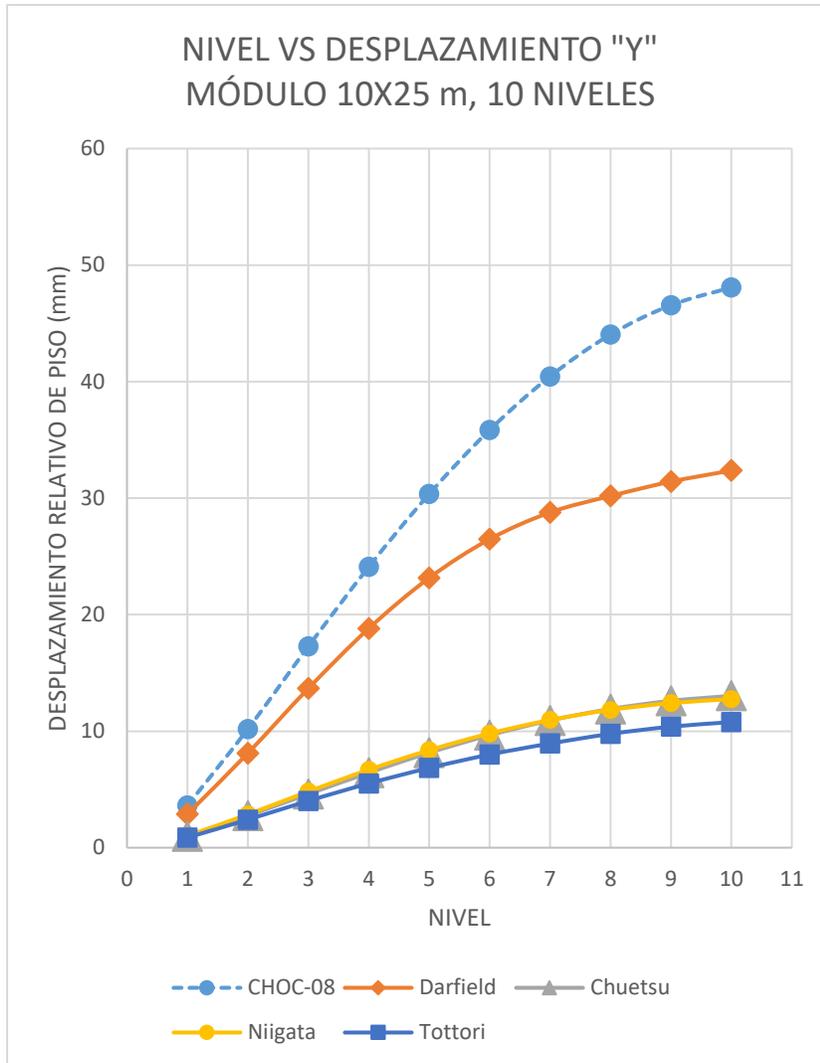
**Figura 46. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m en “x”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “x” del modelo 10x25m y 10 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 28. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m, 10 niveles en dirección “x”.**

Modelo estudiado:					10x25m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas				
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)	Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ
1	2.58	0.892	0.923	0.752	3.692	1.287	0.908	0.749	0.562	65.15%
2	7.492	2.554	2.65	2.138	10.681	3.709	2.602	2.193	4.809	65.28%
3	12.955	4.338	4.516	3.65	18.401	6.365	4.427	3.819	14.582	65.41%
4	18.303	6.028	6.286	5.139	25.949	8.939	6.157	5.423	29.409	65.55%
5	23.182	7.627	7.872	6.488	32.935	11.292	7.750	6.884	47.395	65.71%
6	27.349	9.038	9.24	7.625	39.136	13.313	9.139	8.128	66.057	65.98%
7	30.651	10.231	10.485	8.554	44.392	14.980	10.358	9.078	82.408	66.25%
8	33.885	11.192	11.68	9.407	48.578	16.541	11.436	10.049	100.987	65.95%
9	36.498	11.993	12.577	10.167	51.625	17.809	12.285	10.827	117.220	65.50%
10	38.238	12.524	13.171	10.662	53.62	18.649	12.848	11.347	128.761	65.22%
									Media	65.60%
									Desviación Estándar	0.35%

En la tabla anterior para el modelo 10x25 m de 10 niveles en dirección “x” se aprecia una media del 65.60% con una desviación estándar del 0.35% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:2 de ancho/largo incrementó (65.60%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (63.28%) la proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.



**Figura 47. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx25m en “y”.**

En el gráfico se puede apreciar que los desplazamientos en la dirección “y” del modelo 10x25m y 10 niveles es mayor las del espectro de respuesta elástico del CHOC-08, la tendencia es creciente al aumentar el número de niveles, por lo tanto, es más conservador el diseño por espectro de respuesta del CHOC-08.

**Tabla 29. Comparación de desplazamientos obtenidos por diferentes métodos modelo 10mx20m, 10 niveles en dirección “y”.**

Modelo estudiado:					10x25m	Estadísticos descriptivos de los cuatro acelerogramas					
Nivel	Darfield (mm)	Chuetsu (mm)	Niigata (mm)	Tottori (mm)		Espectro CHOC-08 (mm)	media (mm)	mediana	Desviación estándar	varianza	%Δ
1	2.884	0.987	1.015	0.865	3.617	1.438	1.001	0.837	0.700	60.25%	
2	8.109	2.756	2.853	2.407	10.186	4.031	2.805	2.360	5.570	60.42%	
3	13.667	4.601	4.82	4.016	17.27	6.776	4.711	3.989	15.915	60.76%	
4	18.811	6.429	6.69	5.511	24.097	9.360	6.560	5.474	29.964	61.16%	
5	23.15	8.147	8.367	6.843	30.351	11.627	8.257	6.678	44.601	61.69%	
6	26.476	9.655	9.801	7.992	35.846	13.481	9.728	7.536	56.795	62.39%	
7	28.771	10.915	10.958	8.939	40.444	14.896	10.937	8.052	64.839	63.17%	
8	30.182	11.903	11.824	9.766	44.036	15.919	11.864	8.279	68.547	63.85%	
9	31.413	12.605	12.408	10.384	46.559	16.703	12.507	8.537	72.889	64.13%	
10	32.367	13.034	12.75	10.777	48.082	17.232	12.892	8.781	77.112	64.16%	
										Media	62.20%
										Desviación Estándar	1.47%

En la tabla anterior para el modelo 10x25m de 10 niveles en dirección “y” se aprecia una media del 62.20% con una desviación estándar del 1.47% respecto al porcentaje de la diferencia entre desplazamiento del espectro del CHOC-08 y la media de los 4 registros de sismo en cada nivel. Esto indica que se mantiene la misma proporción en la variación de los desplazamientos. Por lo tanto, el nivel no influye en la proporción de los desplazamientos entre el espectro del CHOC-08 y la media de los cuatro acelerogramas aplicados. La razón 1:2 de ancho/largo incrementó de forma muy leve (62.20%) respecto a la razón 1:1 de ancho/largo (61.84%) la

proporción en la variación de los desplazamientos se concluye que no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura en este caso.

**Tabla 30. Resumen de los porcentajes de la variación de los desplazamientos de la media de los acelerogramas con respecto al espectro del CHOC-08 en dirección “x”.**

Niveles	Media del % $\Delta$ en dirección "x"			
	10mx10m	10mx15m	10mx20m	10mx25m
5	49.53%	50.46%	50.70%	50.23%
10	63.28%	63.26%	64.78%	65.60%

En la tabla anterior se observa que al variar la relación ancho/largo en la dirección “x”, la media de la variación de los desplazamientos promedio de los cuatro acelerogramas con respecto al espectro del CHOC-08 cambia ligeramente tanto para los modelo de 5 niveles como el de 10 niveles teniendo una tendencia casi constante, mientras que, dicha variación es considerable cuando se cambia el número de niveles del modelo donde se aprecia una tendencia creciente, por lo tanto, cambiar la relación ancho/largo no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura, caso contrario ocurre con el parámetro número de niveles que si modifica considerablemente la respuesta de la estructura, aunque, se recomienda realizar más modelos con este último parámetro para asegurar su tendencia.

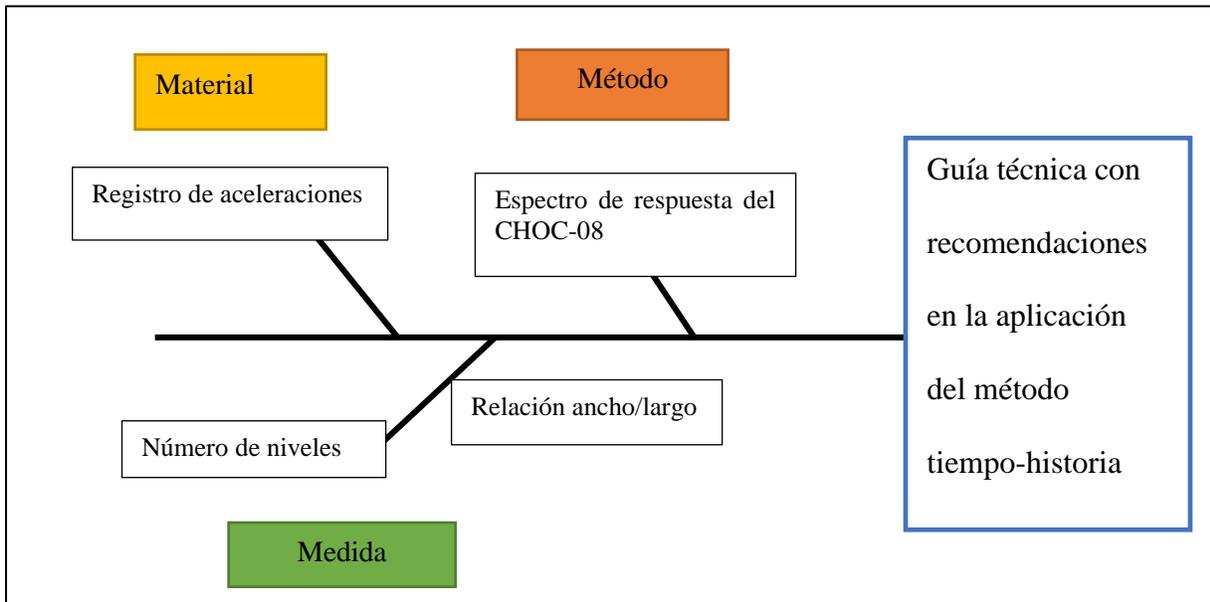
**Tabla 31. Resumen de los porcentajes de la variación de los desplazamientos de la media de los acelerogramas con respecto al espectro del CHOC-08 en dirección “y”.**

Niveles	Media del % $\Delta$ en dirección "y"			
	10mx10m	10mx15m	10mx20m	10mx25m
5	49.53%	49.51%	49.50%	49.49%
10	61.84%	61.85%	62.04%	62.20%

En la tabla anterior se observa que al variar la relación ancho/largo en la dirección “y”, al igual que en la dirección “x”, la media de la variación de los desplazamientos promedio de los cuatro acelerogramas con respecto al espectro del CHOC-08 cambia levemente tanto para los modelo de 5 niveles como el de 10 niveles teniendo una tendencia casi constante, mientras que, dicha variación es considerable cuando se cambia el número de niveles del modelo donde se aprecia una tendencia creciente, por lo tanto, cambiar la relación ancho/largo no es un parámetro determinante en la respuesta de la estructura y con el parámetro número de niveles si modifica considerablemente la respuesta de la estructura, aunque, se recomienda realizar más modelos con este último parámetro para asegurar su tendencia.

#### 4.3 Diagrama de Ishikawa (efecto positivo)

De los resultados de la encuesta se construyó el Diagrama de Ishikawa con efecto positivo mostrado en la Fig. 39.



**Figura 48. Diagrama de Ishikawa (efecto positivo)**

## **Explicación de las causas:**

### **Material**

Registro de acelerogramas:

Obtener registros de acelerogramas de sismos en suelos similares al tipo S4 del CHOC-08 permite:

- Realizar análisis tiempo-historia.
- Cumplir el código cuando pide este tipo de análisis.

### **Método**

Espectro de respuesta:

Facilita la búsqueda de los registros de sismos que se ajustan a nuestras condiciones en la base de datos del PEER, además, ayuda a ver la consistencia de los resultados obtenidos con el método tiempo-historia.

### **Medida**

Relación ancho/largo:

Se encontró que esta variable influye poco en la respuesta de la estructura hasta una relación de 1:2.5, por lo que leves cambios en este factor no requiere cálculos exhaustivos.

Número de niveles:

Se encontró que esta variable puede influir de forma significativa en la respuesta de la estructura, por lo que se sugiere realizar los análisis necesarios al hacer cambios en este parámetro.

#### 4.4 Análisis estadístico e interpretación de resultados

A continuación, se muestra la media y la desviación estándar para los modelos de 5 niveles sobre los cuales se pueden inferir ciertas tendencias.

**Tabla 32. Comparación de diferencias de desplazamientos por nivel en sentido x**

	10mx10m	10mx15m	10mx20m	10mx25m	Media de diferencia en mm por nivel	Desviación estándar muestral
Nivel 1	1.028	1.080	1.111	1.152	1.093	0.045
Nivel 2	2.841	2.987	3.118	3.256	3.051	0.154
Nivel 3	4.566	4.922	5.145	5.354	4.997	0.292
Nivel 4	5.984	6.450	6.751	7.016	6.550	0.384
Nivel 5	6.930	7.440	7.797	8.102	7.567	0.436

**Tabla 33. Comparación de diferencias de desplazamientos por nivel en sentido y**

	10mx10m	10mx15m	10mx20m	10mx25m	Media de diferencia en mm por nivel	Desviación estándar muestral
Nivel 1	1.028	1.057	1.074	1.085	1.093	0.021
Nivel 2	2.841	2.883	2.907	2.923	3.051	0.031
Nivel 3	4.566	4.595	4.612	4.623	4.997	0.022
Nivel 4	5.984	5.978	5.979	5.981	6.550	0.002
Nivel 5	6.930	6.893	6.876	6.867	7.567	0.024

A continuación, se muestra la media y la desviación estándar para los modelos de 10 niveles sobre los cuales se pueden inferir ciertas tendencias.

**Tabla 34. Comparación de diferencias de desplazamientos por nivel en sentido x**

	10mx10m	10mx15m	10mx20m	10mx25m	Media de diferencia en mm por nivel	Desviación estándar muestral
Nivel 1	0.691	0.891	1.051	1.111	<b>0.936</b>	<b>0.163</b>
Nivel 2	2.013	2.593	3.054	3.187	<b>2.712</b>	<b>0.460</b>
Nivel 3	3.54	4.547	5.224	5.442	<b>4.688</b>	<b>0.741</b>
Nivel 4	5.228	6.658	7.247	7.638	<b>6.693</b>	<b>0.915</b>
Nivel 5	7.142	8.525	9.141	9.741	<b>8.637</b>	<b>0.964</b>
Nivel 6	9.314	10.143	10.952	11.77	<b>10.545</b>	<b>0.914</b>
Nivel 7	11.645	11.695	12.695	13.721	<b>12.439</b>	<b>0.850</b>
Nivel 8	13.245	13.109	14.3	14.685	<b>13.835</b>	<b>0.673</b>
Nivel 9	14.196	14.256	14.685	15.116	<b>14.563</b>	<b>0.371</b>
Nivel 10	14.824	14.942	14.843	15.368	<b>14.994</b>	<b>0.220</b>

**Tabla 35. Comparación de diferencias de desplazamientos por nivel en sentido y**

	10mx10m	10mx15m	10mx20m	10mx25m	Media de diferencia en mm por nivel	Desviación estándar muestral
Nivel 1	0.987	0.705	0.72	0.965	<b>0.844</b>	<b>0.132</b>
Nivel 2	2.887	2.026	2.053	2.75	<b>2.429</b>	<b>0.393</b>
Nivel 3	5.059	3.54	3.572	4.792	<b>4.241</b>	<b>0.691</b>
Nivel 4	7.318	5.211	5.248	7.02	<b>6.199</b>	<b>0.976</b>
Nivel 5	9.61	7.115	7.157	9.464	<b>8.337</b>	<b>1.202</b>
Nivel 6	11.901	9.276	9.321	11.816	<b>10.579</b>	<b>1.280</b>
Nivel 7	14.121	11.584	11.624	13.891	<b>12.805</b>	<b>1.204</b>
Nivel 8	16.134	13.741	13.816	15.752	<b>14.861</b>	<b>1.091</b>
Nivel 9	17.757	14.671	14.964	17.22	<b>16.153</b>	<b>1.353</b>
Nivel 10	18.494	15.266	15.541	18.17	<b>16.868</b>	<b>1.472</b>

De la media de diferencias de desplazamientos se infiere que a medida que avanzamos de manera ascendente en nivel la diferencia aumenta. Es decir, la diferencia entre el desplazamiento obtenido del análisis tiempo historia y el obtenido por el análisis modal espectral aumenta siendo el obtenido por el análisis espectral mayor. Gráficamente se puede observar esto al ver como se separan las curvas “nivel v desplazamiento” a medida que aumenta la altura. La misma conclusión se puede demostrar para los modelos de cinco niveles.

Se observa que la desviación estándar muestral indica que la variación en diferencias de desplazamientos en los modelos es pequeña en cualquier nivel, sin embargo, existe una tendencia a aumentar para el lado largo de los modelos a medida que aumenta la altura (o nivel).

## **4.5 Propuesta**

### 4.5.1 Guía técnica para la aplicación del análisis tiempo historia

#### 4.5.2 Introducción

#### 4.5.3 Descripción de propuesta

##### 4.5.3.1 Registro de aceleraciones

##### 4.5.3.2 Elementos principales del programa

##### 4.5.3.3 Definición de función Tiempo-historia

##### 4.5.3.4 Definición del caso de análisis tiempo historia

##### 4.5.3.5 Análisis dinámico

#### 4.5.4 Presupuesto

#### 4.5.5 Cronograma de ejecución

### **4.5.1 Guía técnica para la aplicación del análisis tiempo historia**

#### **4.5.2 Introducción**

El análisis tiempo historia encuentra una aplicación bastante importante en las siguientes situaciones de ingeniería estructural y sísmica:

- Evaluación estructural posterior a un sismo.

- Validación de espectro de diseño. A medida que ocurren eventos sísmicos y éstos proporcionan registros de aceleración se puede actualizar y/o validar el espectro de diseño.

El uso de ordenadores y hojas electrónicas ha permitido poder desarrollar análisis estructurales cada vez más precisos y en menor tiempo, convirtiéndose en herramientas indispensables para el proyectista estructural.

En el área de la ingeniería sísmica aplicada es necesario tener registros de aceleración para llevar a cabo el análisis tiempo historia por lo que se debe asegurar que el registro aplicado sea para un suelo similar al que se encuentra en donde se desea desarrollar el proyecto.

#### **4.5.3 Descripción de propuesta**

El presente documento presenta la metodología a seguir para la aplicación del análisis tiempo historia haciendo uso del programa estructural ETABS. Se explica brevemente cada paso que se efectúa para que el estructuralista lo pueda interpretar y tomar la mejor decisión.

Para una comprensión de lo detallado en la presente guía se requiere que el usuario posea un conocimiento básico de la dinámica estructural, un manejo básico del entorno Windows y del programa ETABS.

La guía por lo tanto sirve de apoyo didáctico en el que el usuario es el principal responsable del uso del programa y sus resultados.

#### 4.5.3.1 Registro de aceleraciones

Para la elección del registro se debe caracterizar el suelo según la normativa elegida. El artículo 1.3.4-2 del Código Hondureño de la Construcción, CHOC-08 detalla los coeficientes de sitio según el tipo de suelo y lo describe. El CHOC-08 permite la utilización de la normativa ASCE 7. En este sentido el capítulo 20 del ASCE 7-16 proporciona información bien detallada sobre la caracterización del suelo para diseño sísmico.

También está la opción de introducir un espectro de respuesta definido por el usuario que servirá como referencia para la búsqueda de los registros.

Una vez caracterizado el sitio se debe buscar un registro de aceleraciones. Puesto que en nuestro medio aún no existe una red de sismógrafos para la presente guía se describe brevemente la utilización de la base de datos en línea de la universidad de California, Berkeley.

Los sitios donde se pueden consultar sobre registros de aceleración son:

[https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/new?sourceDb\\_flag=1](https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/new?sourceDb_flag=1)

[https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/new?sourceDb\\_flag=2](https://ngawest2.berkeley.edu/spectras/new?sourceDb_flag=2)

Se abrirá una ventana solicitando cierta información por parte del usuario para poder acotar los registros con ciertos parámetros que caracterizan a los sismos. En la siguiente figura se muestra dicha ventana.

**Search**

Please visit NGA-East Report.  
You need to re-run Search when any of these parameters are updated.

**Record Characteristics:**

RSN(s) :  RSN1...RSNn

Event Name :

Station Name :

Potentially-Induced EQ (PIE) :

Path Region :

**Suite**

Spectral Ordinate :

Damping Ratio :

**Search Parameters:**

Magnitude :   
min,max

R\_JB(km) :   
min,max

R\_rup(km) :   
min,max

Vs30(m/s) :   
min,max

D5-95(sec) :   
min,max

Useable-Period Range (sec) :   
min,max

**Additional Characteristics:**

Max No. Records :   
(<=100)

**Búsqueda principal**

**Parámetros adicionales de búsqueda**

**Figura 49. Búsqueda en la base de datos de la Universidad de California, Berkeley.**

La búsqueda principal resulta útil cuando se desea buscar para un sismógrafo específico, o algún evento conocido. En los parámetros adicionales de búsqueda se colocan las características que deben cumplir los registros que se encuentran en la base de datos, entre ellos se encuentran la magnitud en momento de los sismos, los rangos de velocidades de onda cortante del suelo, distancias a la falle, entre otros, con el fin de acotar los registros que más se acerca a las condiciones deseadas.

Los parámetros adicionales se definen en la siguiente tabla:

**Tabla 36. Parámetros para la búsqueda en la base de datos de movimiento de suelo de PEER**

<b>Campo</b>	<b>Explicación</b>
Magnitude	Restringe el rango de la magnitud del sismo. Introducir en un formato tipo [min, max]. Si se deja vacío no hay restricción.
D5-95 (sec)	Limita el rango de la duración significativa de los registros. Se debe introducir en formato de [max, min]. El vacío indica que no hay restricción. La duración se define como el tiempo que se necesita para que se construya entre un 5 y 95 por ciento de la intensidad total Arias.
R_JB (km)	Restringe el rango de la distancia Joyner-Boore, que se debe introducir en un formato [min, max], o se deja vacío para que no exista restricción.
R-rup (km)	Limita el rango de la distancia más corta al plano de ruptura, en formato [min, max], o se deja vacío para que no exista restricción.
Vs30 (m/s)	Velocidad promedio de onda cortante para los 30 metros superiores del sitio.
Pulse	Restringe las características del pulso para cualquier registro. Las opciones son (1) cualquier registro; (2) sólo registros de tipo pulso; (3) omitir registros tipo pulso

Después de ejecutar el comando de búsqueda los resultados que cumplen con los criterios del usuario se muestran en orden cronológico:

Results -- Metadata

Click heading of the column to be sorted in ascending order

Rescale Using Checked Records

	Result ID	Spectral Ordinate	Record Seq. #	MSE	Scale Factor	Tp(s)	D5-75(s)	D5-95(s)	Arias Intensity (m/s)	Event	Year	Station	Mag	Mechanism
<input type="checkbox"/> view	1	RotD50	3934	-	1.0	-	6.7	15.6	0.6	Tottori, Japan	2000	SMN002	6.61	strike slip
<input type="checkbox"/> view	2	RotD50	4204	-	1.0	-	21.2	54.7	0.6	Niigata, Japan	2004	NIG014	6.63	Reverse
<input type="checkbox"/> view	3	RotD50	5260	-	1.0	-	20.1	55.8	0.6	Chuetsu-oki, Japan	2007	NIG014	6.8	Reverse
<input type="checkbox"/> view	4	RotD50	5271	-	1.0	-	8.0	25.2	0.7	Chuetsu-oki, Japan	2007	NIG025	6.8	Reverse
<input type="checkbox"/> view	5	RotD50	6959	-	1.0	12.019	11.9	30.5	1.8	Darfield, New Zealand	2010	Christchurch Resthaven	7.0	strike slip

**Figura 50. Ejemplo de resultados de búsqueda en la base de datos de la Universidad de California, Berkeley.**

Una vez desplegada la información de los registros se podrán descargar en una carpeta a través de los enlaces mostrados en la siguiente figura:



**Figura 51. Botones de descarga de archivos.**

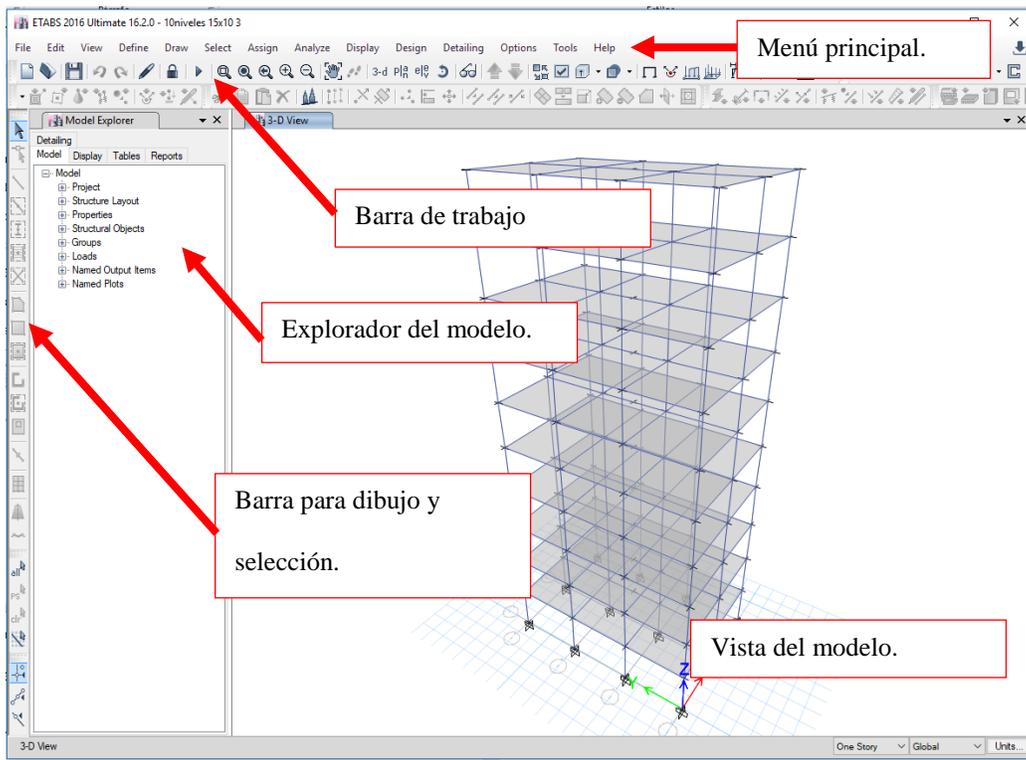
La carpeta descargada contiene los archivos con los registros que se pueden visualizar por medio de un editor de textos.

En general un registro de aceleraciones descargado de la base de datos de la Universidad de California, Berkeley contiene información sobre la fecha del evento, el lugar del evento, los

pasos de tiempo de la aceleración y las aceleraciones en términos de g (aceleración debido a la gravedad en la tierra).

#### 4.5.3.2 Elementos principales del programa

A pesar de que se explicó que se requiere un manejo básico del programa ETABS a manera de habituar al usuario, a continuación, se ilustra la ventana principal del programa:

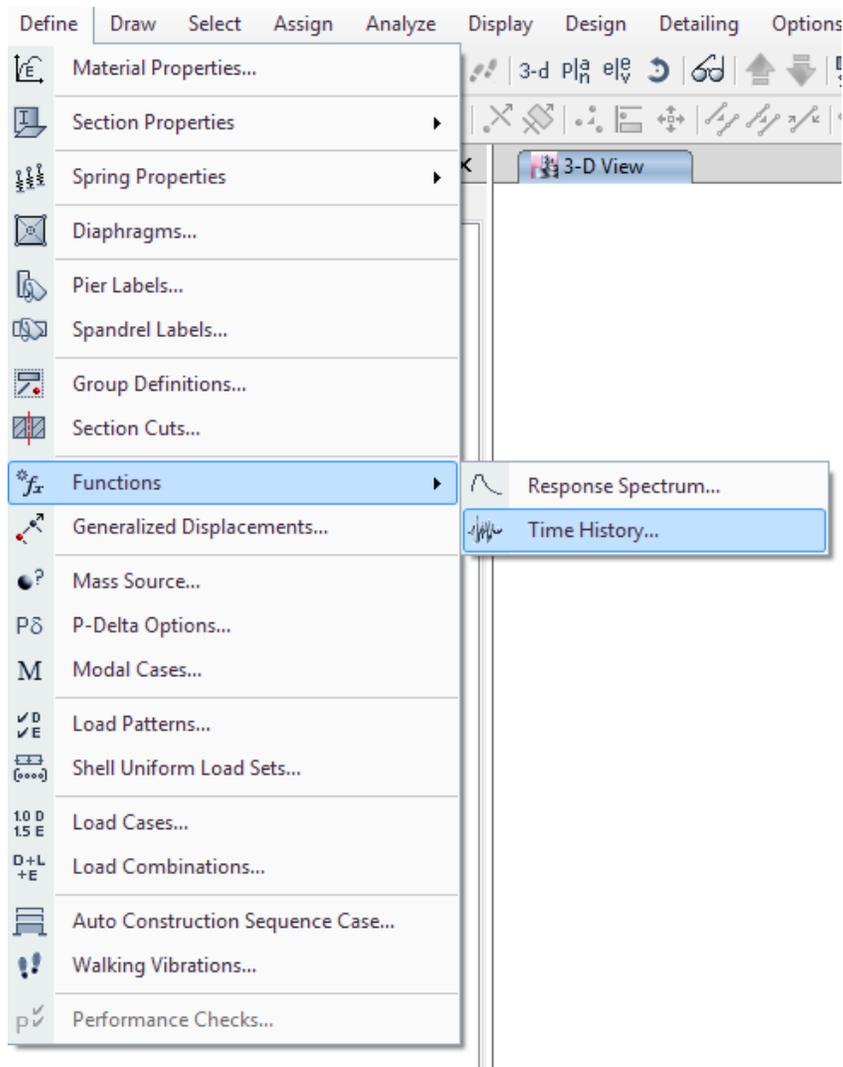


**Figura 52. Pantalla principal del programa ETABS.**

Fuente: Computers & Structures, Inc. (2017).

#### 4.5.3.3 Definición de función “Tiempo-historia”

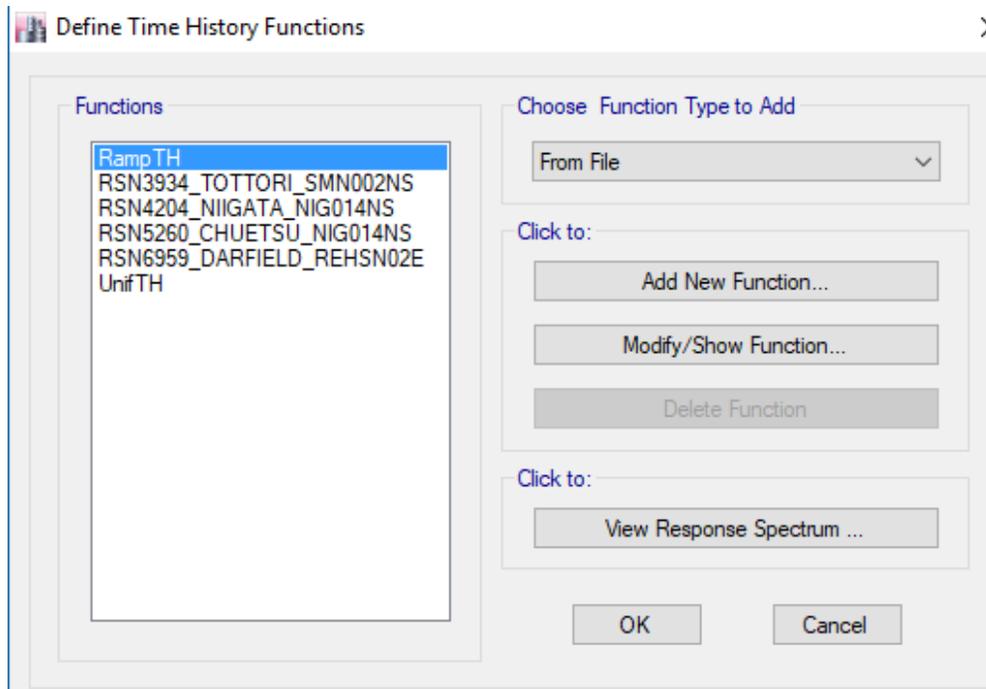
Una vez definido el modelo matemático estructural, la fuente de masa del modelo que se considerará en el análisis dinámico, del menú principal se hace clic en “define”. Luego se ingresa a “functions” para abrir “time history”.



**Figura 53. Definición de la función “Tiempo-historia”**

Fuente: Computers & Structures, Inc. (2017).

En el cuadro de “Define Time History Functions” elegimos “From File” de la sección “Choose Function Type to Add” puesto que el registro de aceleraciones se encuentra en un archivo externo. El programa permite describir manualmente el registro de aceleraciones o según alguna función matemática conocida como la función trigonométrica seno. Esto es útil si por ejemplo la vibración proviene de maquinaria o equipo eléctrico en el que las vibraciones son periódicas.



**Figura 54. Pantalla para definir la función tiempo historia.**

Fuente: Computers & Structures, Inc. (2017).

Una vez elegido “From File” se hace clic en “Add new function”. Esto nos abrirá un cuadro de diálogo en el que se requiere información del usuario. Es importante que el usuario conozca la presentación del archivo que contiene los datos de aceleración. En la siguiente figura se muestra la pantalla con la información que se debe ingresar para definir la función tiempo historia.

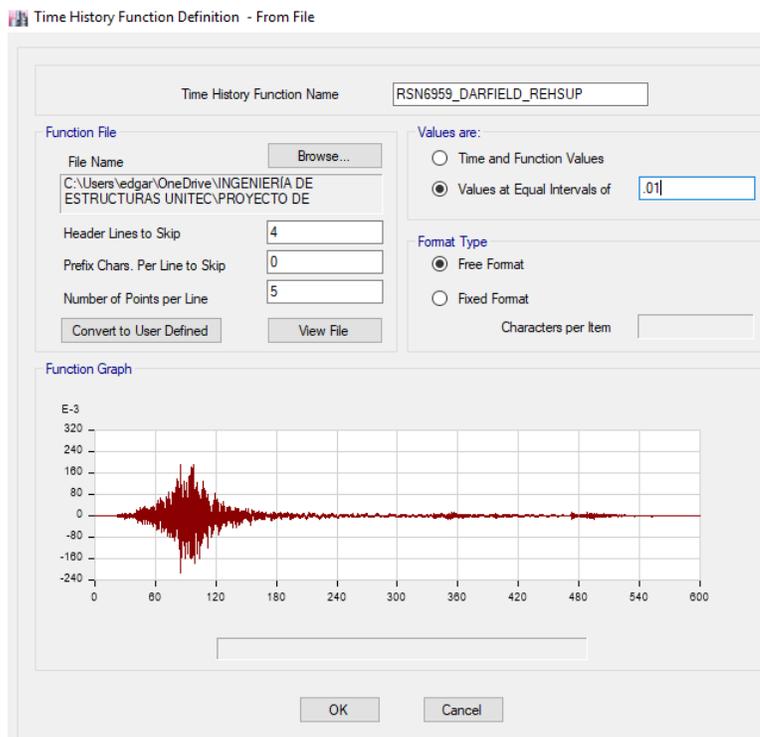
En “Header Lines to Skip” se debe ingresar el número de filas que no contiene aceleraciones del archivo de registro aceleraciones. Normalmente este tipo de archivos dedica las primers filas a describir el sismo, su ubicación y momento en el que ocurrió.

“Prefix carácter Per Line to Skip” indica el número de caracteres que se deben omitir al principio de cada fila.

“Number of Points per Line” indica el número de datos de aceleración que contiene cada fila del archivo del registro.

En la sección “Values are” se describe el formato del archivo de aceleraciones. “Time and Function values” es para archivos que contienen información sobre la aceleración junto al momento en que se produce. “Values at Equal Intervals of” es para registros que contienen sólo datos de aceleración y el intervalo de tiempo ya está definido.

Finalmente se puede dar clic en “Convert to user defined” si se desea que los datos de aceleración se guarden dentro del archivo de análisis.



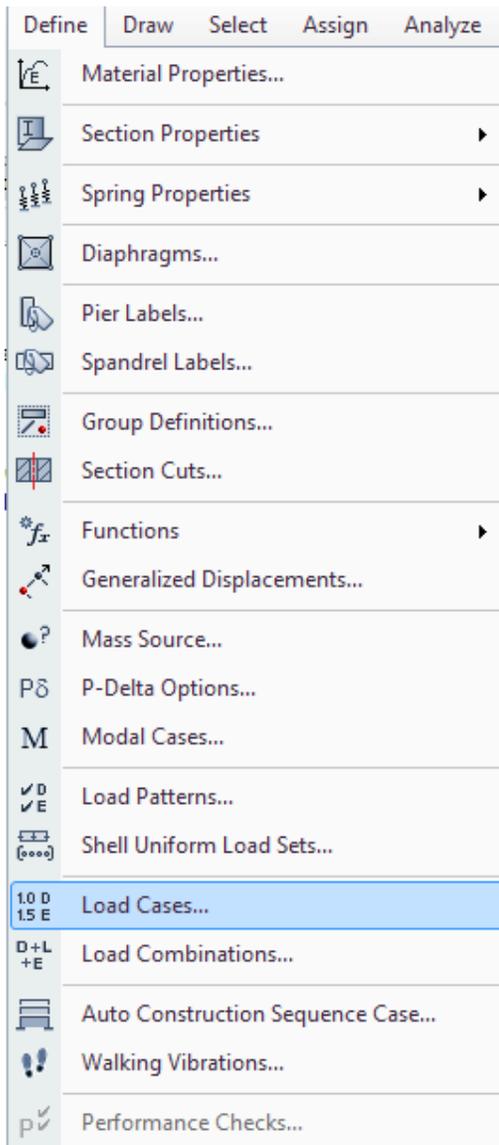
**Figura 55. Definición de parámetros para la función tiempo historia.**

Fuente: Computers & Structures, Inc. (2017).

#### 4.5.3.4 Definición del caso de análisis tiempo historia

Una vez definida la función tiempo historia se debe definir el caso del análisis tiempo historia. La función a grandes rasgos es la introducción del registro de aceleraciones al programa. El caso por otro lado detalla el modo de aplicación de dichos datos.

Para ello se elige “Define” del menú principal. Luego se elige “Load cases”.



**Figura 56. Definición de casos de carga.**

Fuente: Computers & Structures, Inc. (2017).

Habiendo hecho clic en Load Cases en el recuadro que aparece se selecciona “Add New Case” que permitirá definir el modo de aplicación del registro de aceleraciones que ya se ha ingresado al archivo. Se abrirá un cuadro de nombre “Load Case Data”.

En “Load Case Name” del cuadro “Load Case Data” se define el nombre de caso. En “Load Case Type/Subtype” se define el tipo de caso de carga que en este caso es “Time History”. También se debe definir el subtipo de caso en el que se puede elegir un análisis lineal, no lineal, etc.

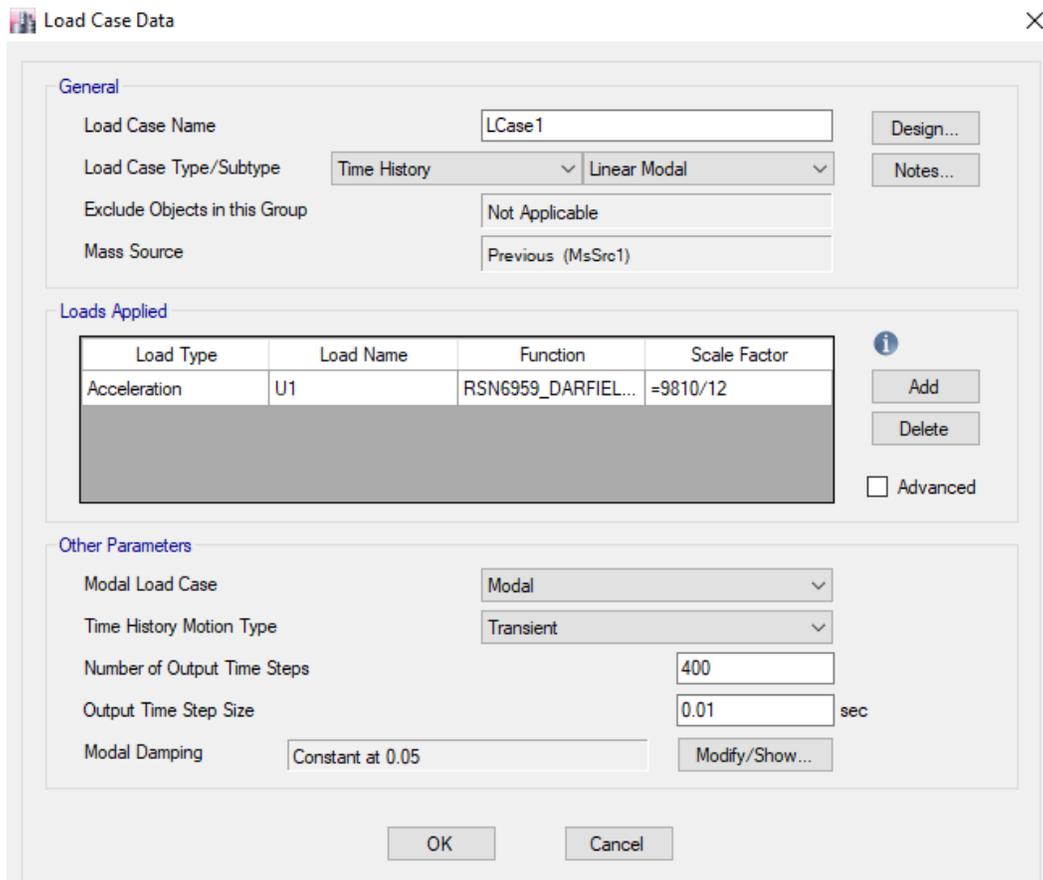
En la sección de “Loads applied” del cuadro “Load Case Data” se debe definir el tipo de carga. Como se desea ingresar el registro de aceleraciones previamente ingresado se debe elegir “Acceleration”. “Load name” indica la dirección en la que actuará la componente del sismo. Refiriéndose a al sistema de coordenadas globales de ETABS, U1 indica dirección horizontal (dirección “x”), U2 indica dirección vertical (dirección “y”) y U3 dirección z. “R1”, “R2” y “R3” son rotaciones con respecto a los ejes globales “x”, “y” y “z” respectivamente. “Function” describe la función de tiempo historia, es decir, es el registro de aceleraciones que se ingresó anteriormente. “Scale Factor” indica el factor que se debe aplicar a los datos del registro. Por ejemplo, si el registro se encuentra en términos de “g” en “Scale Factor” se debe anotar el valor de la gravedad en las unidades que correspondan además del factor de ductilidad  $R_w$  si así lo requiriera.

ETABS permite desarrollar un análisis por aun registro de forma transitoria (en el que el registro se aplica una vez) o de forma periódica.

“Number of Output Time Steps” indica el número de pasos o instantes de tiempo para

calcular los resultados. Se recomienda revisar el registro para determinar el momento en el que el registro deja de mostrar aceleraciones significativas.

“Output Time Step Size” es la duración en segundos de los pasos o intervalos de tiempo con los cuales se desea observar la respuesta de la estructura.



**Figura 57. Definición de caso de tiempo historia en el cuadro “Load Case Data”**

Fuente: Computers & Structures, Inc. (2017).

#### 4.5.3.5 Análisis dinámico

Se ha definido la forma de aplicación del registro de aceleraciones por medio de un análisis tiempo historia. Luego de haber definido el modelo matemático, sus cargas, materiales y

combinaciones de carga se puede ejecutar el análisis estructural para obtener la información que el proyectista requiere.

Se corre el análisis presionando el icono de ejecutar que se encuentra en la barra principal de herramientas.

Además de los modos de vibración, ahora hay mucha más información disponible. ETABS muestra las distintas respuestas dinámicas como gráficos de una cantidad determinada en función del tiempo.

Para observar, por ejemplo, el desplazamiento de un nodo se ingresa a “Display” y luego se presiona en “Plot Functions”. Luego aparecerá un cuadro en el que se puede definir la información que se desea conocer del modelo.

Para conocer la respuesta de un nodo en función del tiempo se hace clic en el ícono que define una función de ploteo nueva y se muestra en la siguiente figura.

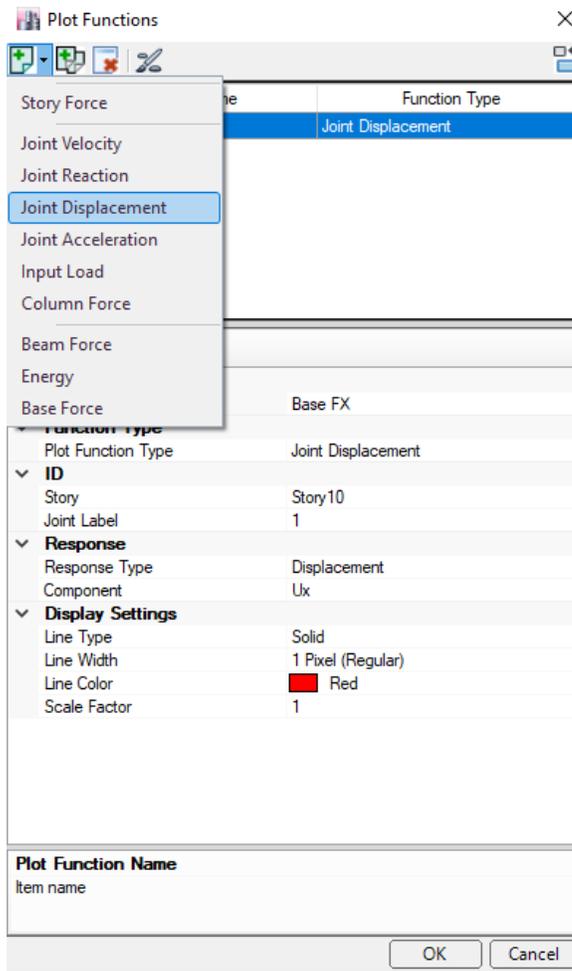


**Figura 58. Botón para definir funciones de ploteo nuevas.**

Fuente: Computers & Structures, Inc. (2017).

Luego de hacer clic en el botón para definir funciones de ploteo aparecerá un recuadro en el que el usuario debe especificar la información que desea conocer.

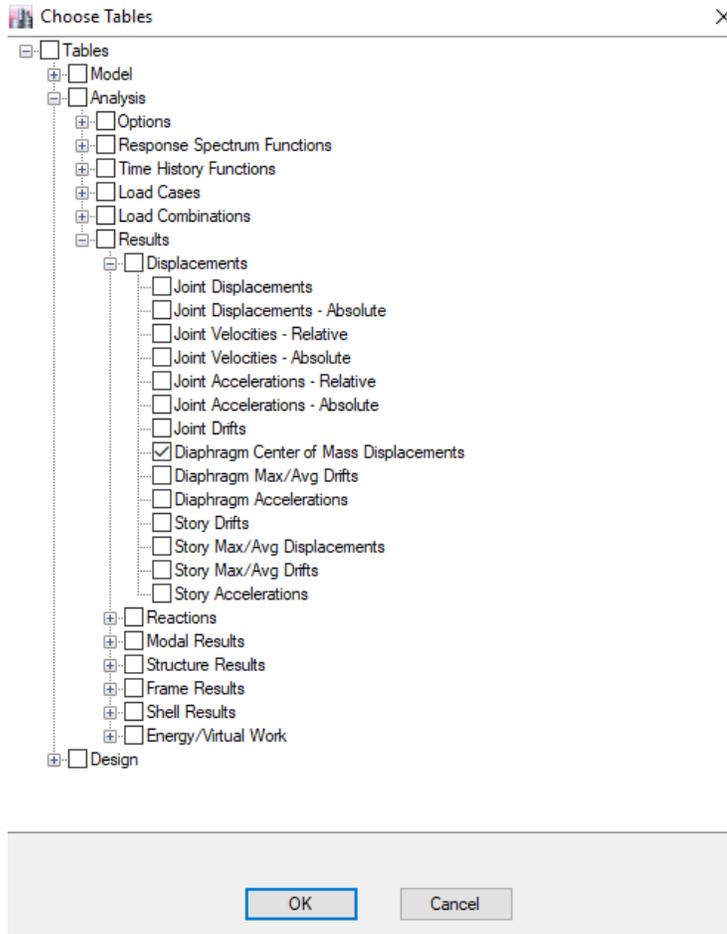
En la siguiente figura se muestra la información que se puede obtener de un nodo en función del tiempo.



**Figura 59. Funciones que se puede plotear según el tiempo**

Fuente: Computers & Structures, Inc. (2017).

Si en el modelo se han definido diafragmas rígidos por nivel es posible conocer los desplazamientos de piso. En el menú principal en “Display” se hace clic en “Show Tables” en donde se puede desplegar los desplazamientos por nivel tal y como se muestra en la Fig. 51.

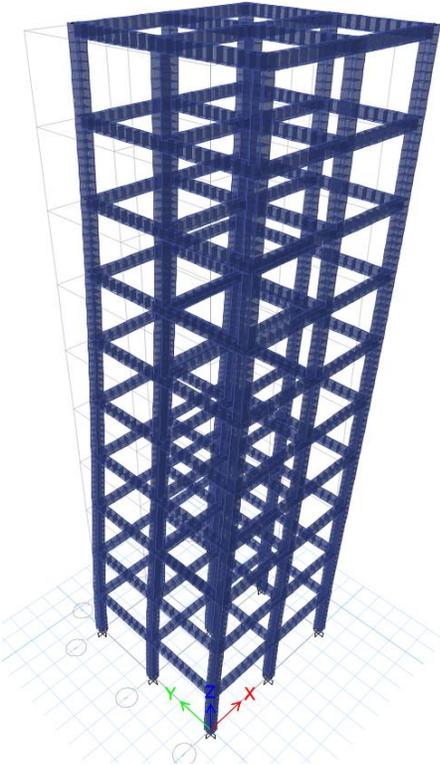


**Figura 60. Datos del análisis que se pueden tabular**

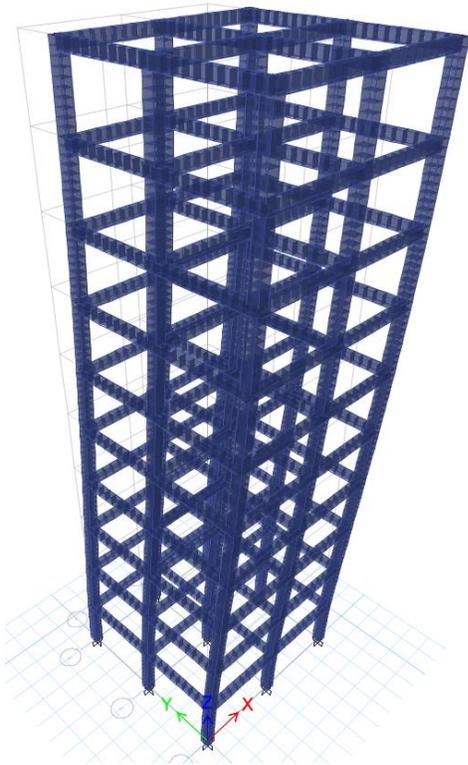
Fuente: Computers & Structures, Inc. (2017).

Con lo expuesto se ha detallado de manera breve una guía para poder aplicar un análisis tiempo historia utilizando ETABS que representa una pequeña fracción de las capacidades del programa por lo que se anima al usuario dedicado a temas estructurales a conocerlo en profundidad.

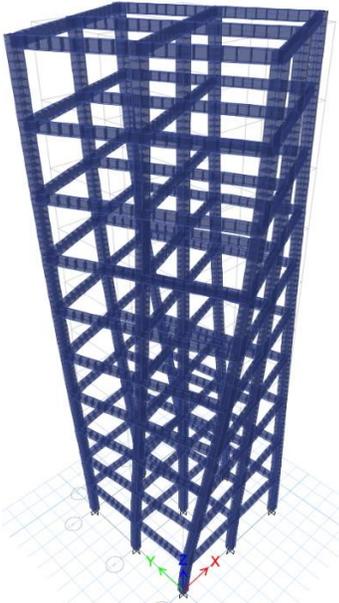
A continuación, se muestran los resultados para un edificio de concreto de 10 niveles con columnas cuadradas de concreto y diafragmas rígidos en cada nivel. El edificio es regular y con plantas cuadradas de 10 metros por 10 metros.



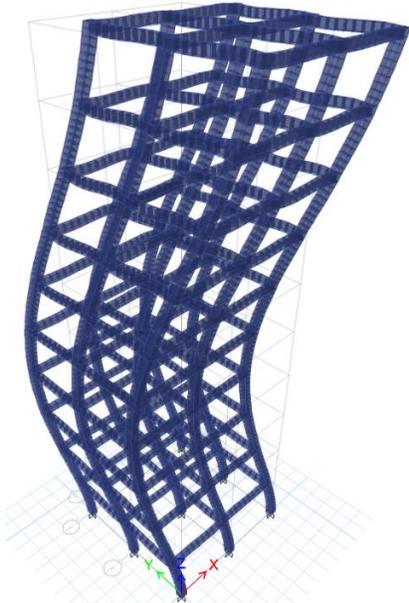
**Figura 61. Modo de vibración 1**



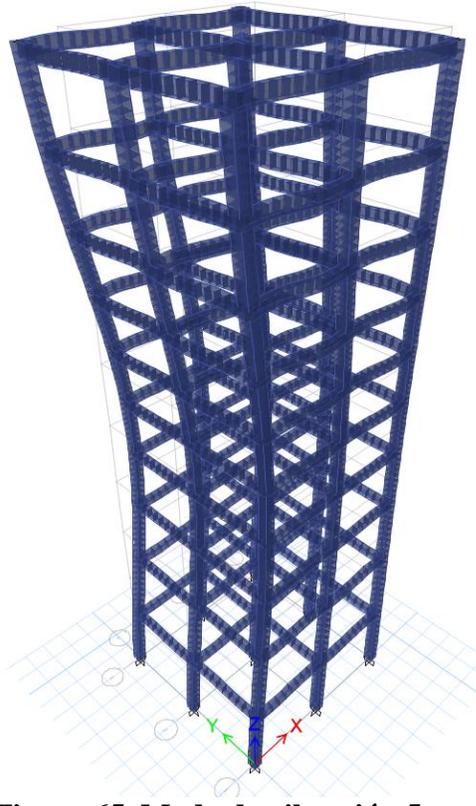
**Figura 62. Modo de vibración 2**



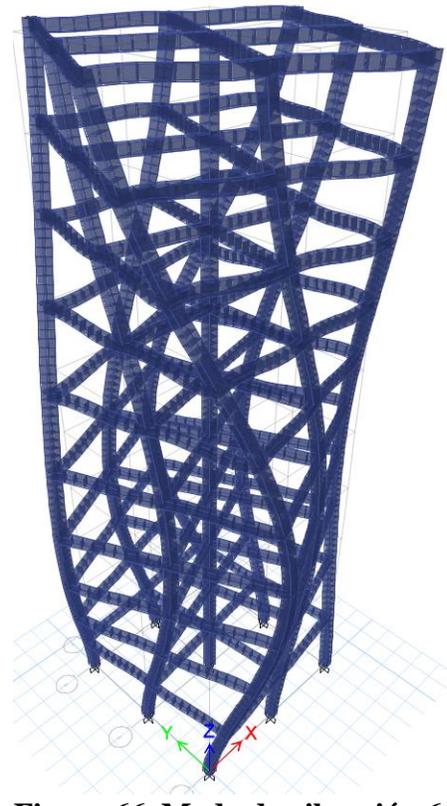
**Figura 63. Modo de vibración 3**



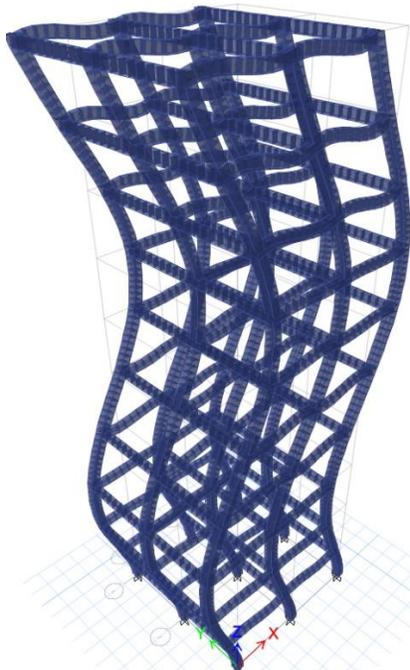
**Figura 64. Modo vibración 4**



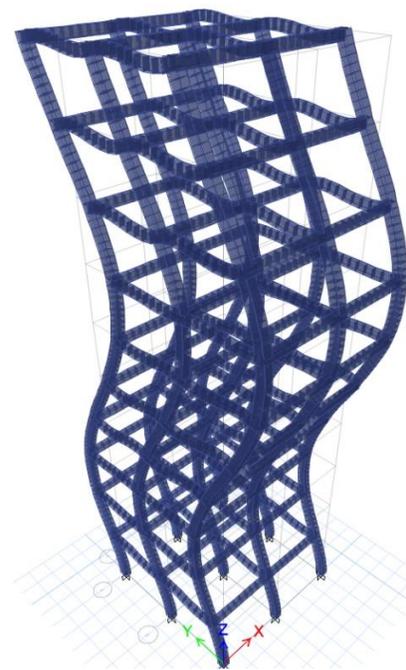
**Figura 65. Modo de vibración 5**



**Figura 66. Modo de vibración 6**



**Figura 67. Modo de vibración 7**



**Figura 68. Modo de vibración 8**

Las figuras 60 a 67 muestran los primeros ocho modos que se han considerado los más significativos pues aportan más de un 90% de la masa total acelerada como se puede observar en la tabla 37.

**Tabla 37. Tasa de masas participantes y periodos**

Modo	Periodo	Tasa de masa participante en X	Tasa de masa participante en Y	Tasa de masa participante en X (acumulada)	Tasa de masa participante en Y (acumulada)
	segundos				
1	1.836	0.791	0.0004	0.791	0.0004
2	1.836	0.0004	0.791	0.7915	0.7915
3	1.342	0	0	0.7915	0.7915
4	0.581	0.0323	0.0708	0.8238	0.8623
5	0.581	0.0708	0.0323	0.8945	0.8945
6	0.431	0	0	0.8945	0.8945
7	0.318	0.0406	0.00002832	0.9351	0.8945
<b>8</b>	<b>0.318</b>	<b>0.00002832</b>	<b>0.0406</b>	<b>0.9352</b>	<b>0.9352</b>
9	0.243	0	0	0.9352	0.9352
10	0.206	0.0233	0.000002056	0.9585	0.9352
11	0.206	0.000002056	0.0233	0.9585	0.9585
12	0.16	0	0	0.9585	0.9585

Para el edificio de planta regular cuadrada investigado los primeros dos modos de vibración son los que poseen las tasas de masas participantes más grandes que es lo que se espera dada su geometría regular.

#### 4.5.4 Presupuesto

En la siguiente tabla se detallan los costos estimados que se pueden esperar para implementar la propuesta en una oficina en la que se asumen que existen cinco personas dedicadas al área de estructuras.

**Tabla 38. Presupuesto**

**PROYECTO: MEJORAMIENTO EN LOGÍSTICA Y CAPACIDADES DE TALENTO HUMANO  
PARA LA EJECUCIÓN DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL E IMPLEMENTACIÓN DE GUÍA PARA LA  
EJECUCIÓN DE ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA**

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL (L)
<b>1</b>	<b>PRELIMINARES</b>				
1.1	Charla de socialización de guía	unidad	1	700.00	700.00
2.1	Compra de ordenadores adecuados para soportar el software ETABS	unidad	5	12,000.00	60,000.00
2.2	Instalación de red de internet para poder acceder a los registros del PEER.	unidad	1	1,800.00	1,800.00
2.3	Compra de software ETABS (versión más completa)	unidad	1	374,400.00	374,400.00
3.1	Capacitación con curso de ETABS	unidad	5	6,000.00	30,000.00
3.2	Seminario para el manejo del PEER a ingenieros encargados de análisis y diseño.	unidad	1	2,000.00	2,000.00
3.3	Reproducción y distribución de guías para la implementación del método tiempo-historia.	unidad	5	150.00	750.00

Total 469,650.00

#### 4.5.5 Cronograma de ejecución

A continuación, se detalla el cronograma de ejecución.

**Tabla 39. Cronograma de ejecución**

Cronograma de Actividades									
ÍTEM	ACTIVIDAD	DURACIÓN	RESPONSABLE	TIEMPO (SEMANAS)					SUPUESTO
				1	2	3	4	5	
	<b>Implementación de guía</b>	37 días							
1	<b>Socialización</b>	<b>1 día</b>							
1.1	Charla	1 día	Jefe de Ingeniería						Guía socializada
2	<b>Adecuación de oficina</b>	<b>10 días</b>							
2.1	Compra de computadoras	7 días	Oficial de compras						Computadoras adquiridas
2.2	Instalación de internet	3 días	Oficial de compras						Internet instalado
2.3	Compra de Software	2 días	Oficial de compras						Software instalado
3	<b>Capacitación</b>	<b>31 días</b>							
3.1	Curso de etabs	30 días	Oficial de Recursos Humanos						Software aprendido
3.2	Seminario del PEER	1 día	Oficial de Recursos Humanos						PEER aprendido
4	<b>Materiales</b>	<b>1 día</b>							
4.1	Reproducción y distribución de guías	1 día	Oficial de compras						Guías distribuidas

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Para un suelo dado a medida que aumenta la altura de un edificio de concreto aumenta la diferencia de desplazamiento calculado por las dos metodologías aplicadas. Se observa que el tipo de suelo influye directamente en la definición del espectro de respuesta y en el registro de aceleraciones que se puede aplicar.
- El uso de ordenadores ha facilitado la aplicación de métodos matriciales de elemento finito que proporcionan datos confiables en un tiempo menor al que se ocuparía si se hiciera manera manual. Mediante la aplicación del método de los elementos finitos (FEM) se ha podido estudiar y analizar la diferencia de las dos metodologías estudiadas para poder realizar inferencias sobre ellas.
- Se concluye que el parámetro de relación ancho/largo de las plantas de los modelos no son determinantes en la respuesta de la estructura, mientras que, el parámetro número de niveles de los modelos si influye considerablemente en el comportamiento de la estructura en el caso de modelos de 5 y 10 niveles, donde se observó una tendencia creciente en la proporción respecto al espectro, de la diferencia de desplazamientos entre el análisis tiempo-historia y el espectro del CHOC-08 al incrementar el número de este último parámetro. Por lo tanto, a mayor altura más conservador es el análisis espectral del CHOC-08.
- La guía técnica propuesta proporciona una herramienta efectiva para ejecutar el análisis tiempo historia utilizando el programa ETABS. El análisis tiempo historia encuentra su aplicación en:

- a) Evaluación de estructuras posterior a un sismo (utilizando un registro de aceleraciones del lugar donde se produjo el evento)
- b) Validar y actualizar espectros de diseño normados, para diseño por desempeño en estructuras.
- c) Análisis de estructuras irregulares o de importancia mayor a la convencional.
- d) Para validar la ductilidad del sistema estructural.

## **5.2 Recomendaciones**

- Se recomienda la utilización del método tiempo-historia para edificios altos ya que por el método espectral del CHOC-08 resulta muy conservador.
- Se debe profundizar en la comprensión del método de elementos finitos ya que resulta en una poderosa herramienta para el análisis estructural pero una mala aplicación puede dar valores muy alejados a la realidad, donde es muy difícil detectar errores debido a la enorme cantidad de datos de entrada y salida que se presenta.
- Se recomienda aumentar la población de modelos relacionados con el parámetro número de niveles para obtener resultados más sólidos.
- Se debe indagar más sobre el método de tiempo-historia para su correcta aplicación en conceptos más avanzados, la presente guía provee una introducción amplia al método.

**Tabla 40. Concordancia de los segmentos de la tesis con la propuesta**

Título	Problema	Objetivo		Conclusiones	Recomendaciones	Aplicabilidad
		General	Específico			
Respuesta dinámica de edificios regulares de concreto sobre un depósito de suelo tipo S4 en Honduras	Se carece de información para la aplicación del método tiempo-historia ya que es muy general en la normativa del país y no existen recomendaciones específicas sobre el análisis de estructuras en suelo tipo S4.	Mostrar la aplicación del método tiempo-historia para el análisis dinámico de una estructura regular en un suelo tipo S4 mediante la modelación computacional para elaborar una guía con recomendaciones en la aplicación del método en dichas circunstancias.	Identificar los parámetros que influyen en el comportamiento estructural de edificios sujetos a movimientos del suelo.	Para un suelo dado a medida que aumenta la altura de un edificio de concreto aumenta la diferencia de desplazamiento calculado por las dos metodologías aplicadas. Se observa que el tipo de suelo influye directamente en la definición del espectro de respuesta y en el registro de aceleraciones que se puede aplicar.	Se recomienda la utilización del método tiempo-historia para edificios altos ya que por el método espectral del CHOC-08 resulta muy conservador.  Se debe profundizar en la comprensión del método de elementos finitos ya que resulta en una poderosa herramienta para el análisis estructural pero una mala aplicación puede dar valores muy alejados a la realidad, donde es muy difícil detectar errores debido a la enorme cantidad de datos de entrada y salida que se presenta.	Guía técnica con recomendaciones en la aplicación del método tiempo-historia
			Analizar la información obtenida aplicando el método de elementos finitos (FEM) para posteriormente interpretar los resultados.	El uso de ordenadores ha facilitado la aplicación de métodos matriciales de elemento finito que proporcionan datos confiables en un tiempo menor al que se ocuparía si se hiciera de manera manual. Mediante la aplicación del método de los elementos finitos (FEM) se ha podido estudiar y analizar la diferencia de las dos metodologías estudiadas para poder realizar inferencias sobre ellas.		

**Continuación de la Tabla 40. Concordancia de los segmentos de la tesis con la propuesta**

Título	Problema	Objetivo		Conclusiones	Recomendaciones	Aplicabilidad
		General	Específico			
Respuesta dinámica de edificios regulares de concreto sobre un depósito de suelo tipo S4 en Honduras	Se carece de información para la aplicación del método tiempo-historia ya que es muy general en la normativa del país y no existen recomendaciones específicas sobre el análisis de estructuras en suelo tipo S4.	Mostrar la aplicación del método tiempo-historia para el análisis dinámico de una estructura regular en un suelo tipo S4 mediante la modelación computacional para elaborar una guía con recomendaciones en la aplicación del método en dichas circunstancias.	Comparar los resultados de los métodos y definir sus diferencias.	Se concluye que el parámetro de relación ancho/largo de las plantas de los modelos no son determinantes en la respuesta de la estructura, mientras que, el parámetro número de niveles de los modelos si influye considerablemente en el comportamiento de la estructura en el caso de modelos de 5 y 10 niveles, donde se observó una tendencia creciente en la proporción respecto al espectro, de la diferencia de desplazamientos entre el análisis tiempo-historia y el espectro del CHOC-08 al incrementar el número de este último parámetro. Por lo tanto, a mayor altura más conservador es el análisis espectral del CHOC-08.	Se recomienda aumentar la población de modelos relacionados con el parámetro número de niveles para obtener resultados más sólidos.	Guía técnica con recomendaciones en la aplicación del método tiempo-historia
			Proponer una guía técnica con recomendaciones en la aplicación del método tiempo-historia.	La guía técnica propuesta proporciona una herramienta efectiva para ejecutar el análisis tiempo historia utilizando el programa ETABS. El análisis tiempo historia encuentra su aplicación en: evaluación de estructuras posterior a un sismo (utilizando un registro de aceleraciones del lugar donde se produjo el evento) y para validar y actualizar espectros de diseño normados.	Se debe indagar más sobre el método de tiempo-historia para su correcta aplicación en conceptos más avanzados, la presente guía provee una introducción amplia al método.	

## BIBLIOGRAFÍA

- Ambrose, James. (2015). *Análisis y Diseño de Estructuras*. Editorial Limusa, S.A. de C.V., México.
- Bazán, Enrique. Meli, Roberto. (1999). *Diseño Sísmico de Edificios*. Limusa.
- Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14)*. (2014). *United States of America: ACI (American Concrete Institute)*.
- Chiessa, Rosa I. (2009, mayo 28). Organización Panamericana de la Salud, Honduras. *Sismo en Honduras*. Recuperado el 28 de mayo del 2018 en:
- Chopra, Anil K. (2012). *Dinámica de Estructuras*, cuarta edición. Pearson Educación, México.
- Comisión Técnica. *Código Hondureño de la Construcción, CHOC-08*. (2008). Honduras
- Clough, R. W., & Penzien, J. (2003). *Dynamics of Structures* (3.<sup>a</sup> ed.). USA: Computers & Structures, Inc.
- Computers & Structures, Inc. (2017). *CSI Analysis Reference Manual*.
- Craig, Jr, R. R. (1981). *Structural Dynamics. An Introduction to Computer Methods*. John Wiley & Sons, Singapur.
- Diario el Heraldo. (2018). *Fuerte temblor de 7.6 grados sacude gran parte de Honduras este martes*. Recuperado 12 de junio de 2018, a partir de <http://www.elheraldo.hn/inicio/1141853-465/temblor-de-76-grados-sacude-a-honduras-sismo-honduras-centroamerica-temblor-honduras>.
- Falconi, Roberto Aguiar. (2008). *Análisis Sísmico de Edificios*, primera edición. Quito, Ecuador.
- Gallo Ortiz, Gabriel; Espino Márquez, Luis Ignacio y Olvera Montes; Alfonso Emilio. (2011). *Diseño estructural de casas de habitación (3ª edición)*. McGraw-Hill Interamericana.
- García, Luis Reyes. (1998). *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*.

- Hernández Meléndrez, Edelsys. (2006). *Como escribir una tesis*. Escuela Nacional de Salud Pública.
- Hibbeler, R.C. (2012). *Structural Analysis*. Pearson Prentice Hall, New Jersey, United States of America.
- Historia de Honduras - Los sismos en Honduras. (s. f.). Recuperado 12 de junio de 2018, a partir de <http://historiadehonduras.hn/Investigaciones/LosSismosenHonduras.htm>
- Humar, Jagmohan L. (2002). *Dynamics of Structures*, second edition. A.A. Balkema Publishers.
- La Prensa. (2017). *Colegio de Ingenieros ya suma 6,000 agremiados*. Recuperado 12 de junio de 2018 a partir de <http://www.laprensa.hn/economia/1072656-410/colegio-de-ingenieros-ya-suma-6000-agremiados>
- Liseth, G. (2013). *Alertan por fallas en los puentes Las Brisas y El Barón*. Recuperado 16 de junio de 2018, a partir de <http://www.laprensa.hn/honduras/sanpedrosula/338584-98/alertan-por-fallas-en-los-puentes-las-brisas-y-el-barón>
- McCormac, Jack C. Brown, Russel H. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado, octava edición*. Alfaomega Editor S.A. de C.V., México D.F.
- Nilson, Arthur H. (1999). *Diseño de estructuras de concreto, duodécima edición*. McGraw Hill Interamericana S.A.
- Normas colombianas de diseño y construcción sismo-resistente. (2003). *Reglamento de construcciones sismo-resistentes NSR-98, tomo uno, primera edición*. RAM Ediciones Digitales LTDA.
- Olaza, Carlos H. (2015). *Análisis comparativo entre el método espectral y el método de tiempo historia, para la obtención de ratios de desplazamientos laterales en edificaciones*, Perú: Escuela de Posgrado. Tesis de Maestría en Ingeniería Estructural.

Parraguez Carrasco, Simona María. Chunga Chinguel, Gerardo Raúl. Flores Cubas, Marlene Milusca. Romero Cieza, Rosario Ysabel. (2017). *El estudio y la investigación documental: estrategias metodológicas y herramientas TIC*. Gerardo Raúl Chunga Chinguel, Perú.

Paz, Mario. (1992). *Dinámica Estructural. Teoría y Cálculo*. Editorial Reverté, Barcelona, España.

Sampieri, Roberto H. Collado, Carlos F. Baptista, María del Pilar. (2010). *Metodología de la Investigación, Quinta edición*. McGraw Hill / Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Sesigur, Haluk. Celik, Oguz C. Cili, Feridum. (2004). *Review and evaluation of combination rules for structures under bi-directional earthquake excitation*. Vancouver, B.C., Canada.

Thomson, William T., Dahleh, Marie Dillon (1998). *Theory of Vibration with Applications*, fifth edition. Reprint 2005 by Pearson Education Asia Limited and Tsinghua University Press.

University of California, Berkeley. (2018). *What is PEER?* Recuperado en: [http://peer.berkeley.edu/about/what\\_is\\_peer.html](http://peer.berkeley.edu/about/what_is_peer.html)

## ANEXOS

### Encuesta

#### RESPUESTA DINÁMICA DE EDIFICIOS DE CONCRETO SOBRE UN DEPÓSITO DE SUELO TIPO S4 EN HONDURAS

Como parte del proceso de investigación desarrollado a través de la maestría de ingeniería de estructuras de UNITEC, el día de hoy le estamos solicitando su valiosa colaboración para la obtención de datos importantes sobre la metodología utilizada para el análisis dinámico de estructuras. La información que nos proporcione será tratada con estricta confidencialidad y anonimato. De antemano agradecemos su valiosa colaboración. (Elegir solamente una respuesta).

1. ¿Cuál es el método que aplica para el diseño por sismo?
  - Procedimiento estático para determinar las fuerzas sísmicas
  - Procedimientos dinámicos para determinar las fuerzas sísmicas
  - Procedimientos estáticos y dinámicos
  - Desconoce el diseño por sismo
  
2. ¿Ha aplicado alguna vez procedimientos dinámicos para determinar las fuerzas sísmicas?
  - Si
  - No
  
3. ¿Conoce las características de un suelo tipo S4 definido en el CHOC-08?
  - Si
  - No

4. ¿Ha aplicado alguna vez el análisis con espectro de respuesta en su trabajo?

- Si
- No

5. ¿Ha aplicado alguna vez el análisis tiempo-historia en su trabajo?

- Si
- No

6. ¿Qué factores dificultan la aplicación del análisis tiempo-historia en su trabajo?

- Falta de conocimiento sobre el análisis tiempo-historia
- Falta de datos para poder desarrollar un análisis tiempo historia
- No existen casos en los que se deba ejecutar un análisis tiempo-historia

7. ¿Le gustaría que existiera una red de sismógrafos en el país que proporcione de manera pública la información recogida?

- Si
- No

8. ¿Le interesaría una guía técnica con recomendaciones en la aplicación del análisis tiempo-historia?

- Si
- No

	A	B	C	D	E
1	Example of User Defined Spectrum				
2					
3	T (s)	Sa (g)			
4	0	0.25			
5	0.005	0.25705645			
6	0.01	0.2641129			
7	0.015	0.27116936			
8	0.02	0.27822581			
9	0.025	0.28528226			
10	0.03	0.29233871			
11	0.035	0.29939516			
12	0.04	0.30645161			
13	0.045	0.31350807			
14	0.05	0.32056452			
15	0.055	0.32762097			
16	0.06	0.33467742			
17	0.065	0.34173387			
18	0.07	0.34879032			
19	0.075	0.35584677			
20	0.08	0.36290323			
21	0.085	0.36995968			
22	0.09	0.37701613			

**Figura 1. Anexo de formato .csv para ingresar en búsqueda de registros en página del PEER.**

## CONSTANCIA DE LECTURA

Yo, Jessi Carolina Mendoza Aguilar, licenciada en pedagogía, con número de identidad 0801-1968-00529, por este medio HAGO CONSTAR: que he leído la tesis RESPUESTA DINÁMICA DE EDIFICIOS DE CONCRETO SOBRE UN DEPÓSITO DE SUELO TIPO S4 EN HONDURAS sustentada por los Ingenieros Edgardo Roberto Ávila Mendoza y Lester Fabricio Castillo Lara, previa investidura al título de máster en Ingeniería de Estructuras.

Y para los fines que el (la) interesado (a) estime conveniente, se le extiende la presente en la ciudad de Tegucigalpa, a los tres días del mes de julio de dos mil dieciocho.



Jessi Carolina Mendoza Aguilar

Correo: [mendozajessi@yahoo.com](mailto:mendozajessi@yahoo.com)

Teléfono: (+504) 8904-0491

## Re: Correcciones

Rene Giron Vargas

Wed 7/4/2018 3:04 PM

To: Edgardo Avila <edgardoavila@hotmail.com>; I\_fabricio88@hotmail.com <I\_fabricio88@hotmail.com>;

**Ing. Ávila y Castillo**  
**Buenas tardes.**

Acuso recibido de su trabajo, al mismo tiempo comunicarles que he revisado su documento de Tesis, "**Respuesta Dinámica de Edificios de Concreto sobre Depósitos de Suelo Tipo S4 en Honduras**". Al respecto otorgo mi **Visto Bueno como Asesor Temático** para que procedan a la entrega de dicho documento y continúen con el proceso requerido de la institución académica que les corresponde.

Sin más.  
Atentamente,

[René Girón Vargas](#)  
M.I.E., M.I.P., Ing. Civil (CICH 5741)  
Móvil 3385-4826  
**Consultor en mecánica estructural**

---

**De:** Edgardo Avila <edgardoavila@hotmail.com>

**Enviado:** miércoles 04 de julio de 2018 10:40

**Para:** René Girón

**Asunto:** Correcciones

Ing. Girón,

Adjunto correcciones hechas. Si lo considera correcto agradecería su visto bueno. Gracias por su tiempo y dirección en todo esta etapa.

Edgardo Ávila.

7/9/2018

Vo Bo Tesis - EDGARDO ROBERTO AVILA MENDOZA

## Vo Bo Tesis

ZELAYA OVIEDO CARLOS AUGUSTO

Fri 7/6/2018 10:07 AM

To: EDGARDO ROBERTO AVILA MENDOZA <edgardoavila@unitec.edu>; LESTER FABRICIO CASTILLO LARA <lestercastillo@unitec.edu>;

Cc: PG Postgrado <pgpostgrado@unitec.edu>;

2 attachments (13 MB)

EDGARDO Y LESTER - TESIS FINAL.docx; EDGARDO Y LESTER SÍNTESIS.docx

Estimados Maestranes Ávila Mendoza y Castillo Lara.

Después de haber finalizado su tesis de postgrado "**RESPUESTA DINÁMICA DE EDIFICIOS DE CONCRETO SOBRE UN DEPÓSITO DE SUELO S4 EN HONDURAS**", cumplir con los requerimientos y haber realizado la pre defensa, les doy el **Vo Bo** correspondiente que los autoriza para continuar con los trámites en la facultad de postgrado. Deben proceder a imprimir el documento revisado y que de nuevo les adjunto, a doble cara incluyendo (después de los anexos) el VoBo del asesor temático, constancia de lectura y este VoBo del asesor metodológico. Deben entregar en postgrado los tres ejemplares entre el 2 y el 11 de julio. Recomiendo que la síntesis la entreguen al momento de la defensa a cada miembro de la terna.

Saludos y les deseo muchos éxitos en su defensa.

Carlos A. Zelaya Oviedo  
Asesor metodológico PG