

# ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO MODULARES PARA CENTROS COMERCIALES

*Srta. Diana Medina Pozo*

Ingeniería Civil, Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE,

[dcmolina3@espe.edu.ec](mailto:dcmolina3@espe.edu.ec)

## RESUMEN

*El análisis y diseño de estructuras de acero representan uno de los principales campos de aplicación de la ingeniería, en Ecuador existe un notable incremento de construcciones elaboradas en este material y es importante utilizar las ventajas de este material en estructuras de gran magnitud como un Centro Comercial. Entonces es necesario realizar un estudio del análisis y diseño de esta edificación a base de estructura de acero y determinar condiciones óptimas que permitan lograr un nivel aceptable de confianza, en el comportamiento ante la acción de diferentes cargas estáticas y dinámicas. Para alcanzar este objetivo se realiza 3 tipos de análisis: estático, modal espectral y paso a paso en el tiempo, los cuales determinan los comportamientos de la estructura y proporcionan los datos necesarios para el diseño de la misma. El diseño de estos elementos presentan una serie de inconvenientes, derivados de las características propias de un Centro Comercial, para los cuales se busca una solución viable, dentro del diseño se considera el diseño de pórticos, conexiones y cimentaciones. Como una herramienta de ayuda para el desarrollo de la presente tesis de grado, se utiliza el programa computacional ETABS 2013,*

**Palabras claves:** Centro comercial, Acero estructural, Análisis y diseño elementos estructurales

## ABSTRACT

*The analysis and design of steel structures represent one of the main application fields of engineering, in Ecuador there is a notable increase in buildings made of this material and it is important to use the advantages of this material in large-scale structures such as a*

*shopping center. Then it is necessary to conduct a study of the analysis and design of this building based steel structure and determine optimal conditions to achieve an acceptable level of confidence in the performance under the action of different static and dynamic loads. To achieve this goal 3 types of analyzes were performed: static, modal and spectral step in time, which determine the behavior of the structure and provide the data required for the design of it. The design of these elements have a number of disadvantages arising from the characteristics of a shopping center features, which are looking for a viable solution within the design is considered the design of frames, connections and foundations. As a tool to aid in the development of this thesis, the ETABS 2013 computer program for different analysis and design procedures used.*

**Keywords:** Business centre, structural steel, structural analysis and design

## 1. INTRODUCCIÓN

Ecuador vive un momento en el cual la capacidad de consumo de sus ciudadanos ha crecido. Para los analistas, el alto consumo que se registra obedece a factores como la capacidad de pago que tiene hoy en día el ecuatoriano y a sus niveles de ingresos. (COMERCIO, ElComercio.com, 2012)

Este incremento en la capacidad de consumo de los ecuatorianos ha originado una expansión de nuevos centros comerciales (en adelante CC) en el país. Los CC atraviesan su mejor momento para expandirse en Ecuador, debido a las millonarias inversiones que se han dado por seis grupos económicos del país como: Corporaciones Favorita, El Rosado, Banco Pichincha, Gerardo Ortiz, Consorcio Nobis y Grupo Quicentros. (COMERCIO, ElComercio.com, 2013). La mayoría opera en Quito, Guayaquil y Cuenca, pero el espacio parece quedar cada vez pequeño y ahora otros cantones ya cuentan con este tipo de infraestructuras. Machala, Daule, Riobamba, Manta, Ambato, Latacunga, Santo Domingo, entre otros forman parte del mapa de los 'malls' construidos en los últimos 4 años. (COMERCIO, ElComercio.com, 2013).

El desarrollo y expansión de CC en el Ecuador es indiscutible, razón por la cual, es necesario realizar un estudio que permita la construcción de este tipo de estructuras de manera segura, rápida, fácil y económica. Bajo este criterio nace la idea de realizar estructuras modulares que sirvan de base para la construcción de futuros CC, desarrollando módulos base, cuya repetición forme el CC y pueda adaptarse a los diferentes usos del mismo, conservando la temática propia de cada CC y su distribución arquitectónica.

Una de las principales ventajas al optar por este tipo de construcción es la construcción estandarizada de los elementos de la estructura, lo que ayuda a los fabricantes de perfiles metálicos una producción estándar de los mismos. Las modulaciones, luces y tipo de perfiles que se utilizarán en los módulos base son convenientes en numerosos casos. Sin embargo, no pueden elevarse a regla general, pues los múltiples condicionantes que rodean a cada proyecto, puede hacer necesaria o conveniente la búsqueda de soluciones distintas.

La mayoría de los CC existentes en el Ecuador han sido analizados, diseñados y construidos como estructuras de hormigón armado, pero esta tendencia podría cambiar si se toma en cuenta las ventajas del uso de acero estructural en este tipo de estructuras.

La rapidez de construcción, la belleza de las estructuras metálicas, además de la funcionalidad, versatilidad y el aire moderno que confiere el uso del acero en la edificación llevan a muchos CC a optar por este tipo de construcción. Las estructuras metálicas, además de las ventajas que conllevan a nivel estético, permiten otras ventajas a nivel técnico, como disponer espacios más amplios sin recurrir a columnas en el interior del CC.  
(JANSAMETAL)

## 2. ANÁLISIS DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES

### 1.1 Configuración de módulos base

El desarrollo de esta tesis basa su estudio en módulos base, los cuales representan la geometría estructural empleada en el país, para esto se ha tomado como referencia un análisis visual de los CC existentes en el Distrito Metropolitano de Quito, además de los planos arquitectónicos de uno de los CC ubicado en esta ciudad.

La primera configuración en planta corresponde a un bloque regular, el cual será destinado para la distribución de los diferentes locales comerciales, es de forma rectangular, sus dimensiones son de 48x40,80m, además posee un volado exterior de 3,6m, como se observa en la Figura 1.

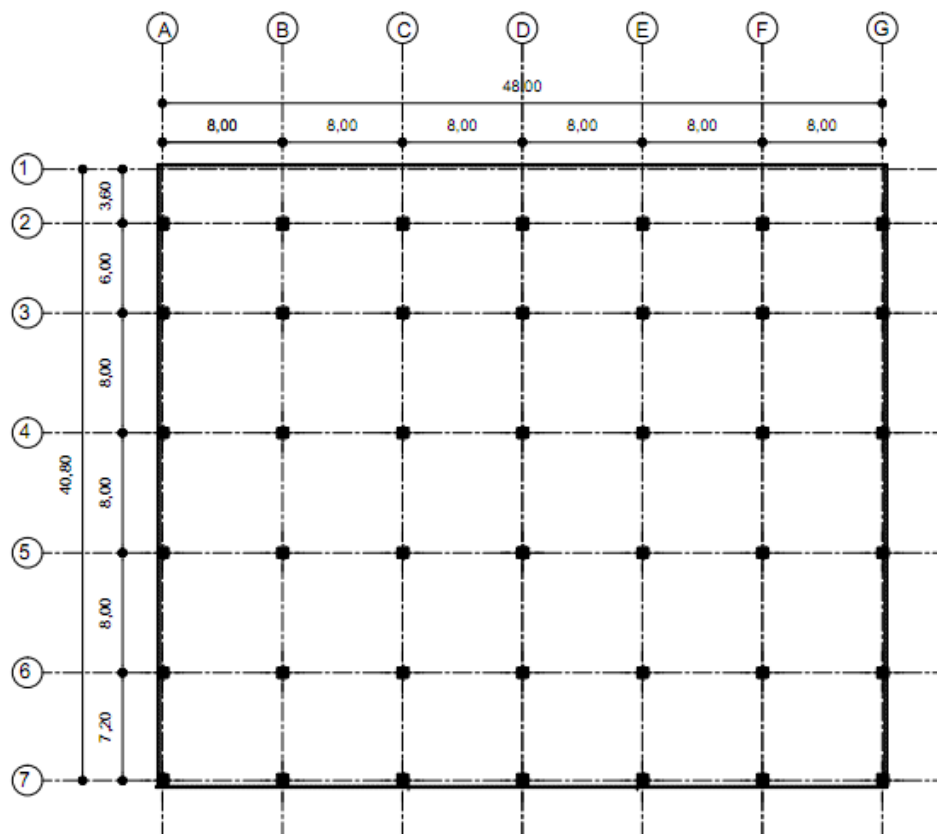


Figura 1. Primera configuración estructural en planta

La segunda configuración en planta es un bloque de forma rectangular de dimensiones 48 x 76m, esta configuración presenta irregularidad en planta, debido a que existen cortes en la losa (representados en líneas entre cortadas), los cuales permiten el ingreso de luz y visualización de los visitantes del CC hacia la planta inferior, además forman los puentes de circulación del CC, como se observa en la Figura 2.

Este módulo está destinado para corredores y elementos de unión del CC, como escaleras eléctricas y ascensores los cuales son considerados independientes de la estructura, es decir no influirán en el diseño y comportamiento de la edificación.

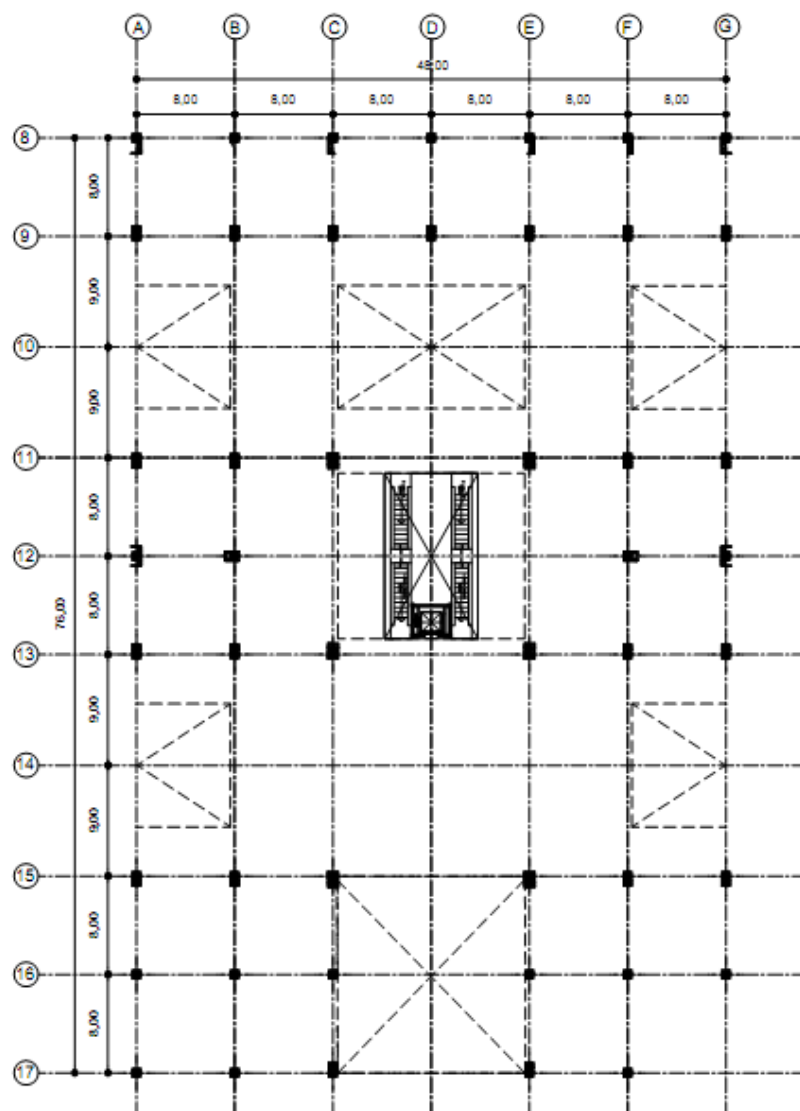


Figura 2. Segunda configuración estructural en planta

Siguiendo los criterios estructurales de los CC estudiados, los módulos base tienen una configuración en elevación basada en el número de plantas destinadas para la distribución de los locales comerciales. Para la super-estructura se tendrá en cuenta 2 y 4 plantas.

## 1.2 Análisis de cargas verticales

Para determinar las cargas que actúan en la estructura de un CC, se ha utilizado los parámetros establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en su capítulo primero "CARGAS Y MATERIALES".

### 1.2.1 Carga Muerta o Permanentes

Son aquellas cuya variación en el tiempo es despreciable en relación a valores medios o aquella para la cual la variación tiende a un valor constante. Para determinar la carga permanente que actuará en la estructura se considera: peso de paredes, masillado, acabado de pisos y peso de instalaciones eléctricas y sanitarias.

Tabla 1. Carga permanente – Bloque Regular

<b>Cargas Permanentes</b>	<b>Peso</b>
Bloque Regular	188.00 kg/m <sup>2</sup>
Bloque Irregular	140.00 kg/m <sup>2</sup>
Planta de Cubierta	113.00 kg/m <sup>2</sup>

### 1.2.2 Carga Viva o Sobrecarga de Uso

La carga viva o sobrecarga de uso es aquella carga cuya acción es variable en el tiempo y se determina por la función y uso del edificio. Presenta variaciones frecuentes o continuas, no despreciables en relación a su valor medio.

Para el desarrollo de esta tesis la carga viva será adoptada de acuerdo a lo establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción para las diferentes ocupaciones de los bloques, estas cargas son:

- Almacenes:  $4,8\text{kN/m}^2 \rightarrow 490 \text{ kg/m}^2$
- Corredores  $4,0\text{kN/m}^2 \rightarrow 410 \text{ kg/m}^2$
- Losa de cubierta:  $1\text{kN/m}^2 \rightarrow 102 \text{ kg/m}^2$

### 1.3 Análisis estático equivalente

El método estático, también llamado de fuerza lateral equivalente, sustituye la fuerza sísmica lateral por una fuerza estática equivalente. Con él, la estructura se diseña para resistir una fuerza sísmica aplicada en la base de la estructura (cortante basal), la cual se distribuye en fuerzas laterales que actúan en cada uno de los niveles.

#### 1.3.1 Cortante Basal

Es la fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción. (Peligro sísmico y Requisitos de diseño sismo resistente, 2013)

El cortante basal total de diseño  $V$ , a nivel de cargas últimas, que será aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante la expresión:

$$V = \frac{IS_a}{R\phi_e\phi_p} * W$$

Para el cortante basal se toma en cuenta las siguientes consideraciones:

- *Factor de zona (Z)*: el CC estará ubicado en la ciudad de Quito.
- *Factor de importancia (I)*: se considera que es una edificación de ocupación especial, ya que alberga más de 5000 personas.
- *Factor de reducción (R)*: la estructura tiene pórticos especiales sismo-resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.
- *Coefficientes de configuración estructural ( $\phi_e$ ,  $\phi_p$ )*, dependen de la configuración en planta y en elevación que tienen cada uno de los modelos de los módulos que se desarrollan en la tesis.
- *Aceleración espectral ( $S_a$ )*: correspondiente al espectro de respuesta elástico para diseño.
- *Carga reactiva (W)*: representa la carga reactiva por sismo

En esta tesis se ha decidido trabajar con suelo de perfil “C”, debido a que al comparar los factores de sitio entre los suelos de tipo “B”, “C” y “D”, de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción, el suelo de perfil C tiene un rango intermedio de estos factores, como se puede observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Factores de sitio suelos B, C y D

Suelo tipo B		Suelo tipo C		Suelo tipo D	
<b>Fa</b>	1,00	Fa	1,20	Fa	1,20
<b>Fd</b>	1,00	Fd	1,30	Fd	1,40
<b>Fs</b>	0,75	Fs	1,30	Fs	1,50

### 1.3.1.1 Factores - Modelo regular

Para todos los bloques que presentan una configuración en planta regular, los parámetros adaptados para determinar el cortante basal son:

Tabla 3. Factores para cortante basal modelo regular

Datos	Descripción	Valor	Datos obtenidos del NEC
<b>Z</b>	Factor de Zona	0,40	
<b>I</b>	Factor de Importancia	1,30	
<b>R</b>	Factor de Reducción	6,00	
<b><math>\Phi_p</math></b>	Coefficiente de configuración estructural en planta	1,00	
<b><math>\Phi_e</math></b>	Coefficiente de configuración estructural en elevación	1,00	

### 1.3.1.2 Factores - Modelo irregular

Uno de los principales parámetros en el análisis y diseño de estructuras que presentan plantas con características de irregularidad es el coeficiente de configuración en planta  $\phi_p$ . Existen diferentes tipos de irregularidad. Las cuales se pueden observar en el NEC-11, aplicando las ecuaciones dadas, la planta no tiene discontinuidades apreciables causadas por aberturas, entrantes y huecos, ya que su área no es mayor al 50% del área total del piso, por lo tanto se considera como una planta regular y para el cálculo del cortante basal se toman los mismos parámetros para las dos configuraciones estructurales.



### 1.3.2 Parámetros para el Análisis Estático Equivalente

Cada modelo estructural tiene distintos valores para las incógnitas necesarias para realizar el análisis estático, estos parámetros se presenta en la Tabla 5 y en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 4. Periodos de Vibración y Carga Reactiva

Modelos	Periodos de Vibración			Carga Reactiva	
	T (s)	To (s)	Tc (s)	W (Tn)	
2 pisos	1	0,4707	0,1408	0,7746	1956,02
	3	0,4707	0,1408	0,7746	2419,81
4 pisos	2	0,7916	0,1408	0,7746	4477,27
	4	0,7916	0,1408	0,7746	5333,99

Tabla 5. Aceleración Espectral y Cortante Basal

Modelos	Aceleración Espectral		Cortante Basal	
	Sa	V	Cf	
2 pisos	1	1,19	504,50	0,2579
	3	1,19	624,12	0,2579
4 pisos	2	1,16	1130,02	0,2524
	4	1,16	1346,25	0,2524

### 1.3.3 Combinación de Cargas

Para realizar un análisis y diseño adecuado de la estructura y sus diferentes componentes, se debe asegurar que la estructura sea capaz de soportar los efectos de las cargas incrementadas, de acuerdo a las combinaciones de carga recomendadas por el NEC.

1,4 CM

1,2 CM + 1,6CV

1,2 CM + 1,0CV

1,2 CM + 1,0CV ± EQX1

1,2 CM + 1,0CV ± EQX2

1,2 CM + 1,0CV ± EQY1

1,2 CM + 1,0CV ± EQY2

0,9 CM ± EQX1

$$0,9 CM \pm EQX2$$

$$0,9 CM \pm EQY1$$

$$0,9 CM \pm EQY2$$

### **1.3.4 Modelación estática**

La modelación estática se realizó en el programa ETABS 2013 Versión 13.1.1 por las facilidades que ofrece para el análisis y diseño de estructuras. Para el análisis estático la estructura se modeló completamente dentro del software anteriormente mencionado, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones de materiales y elementos.

El sistema estructural se definió como un sistema estructural de Acero con pórticos especiales a momentos (PEM) o special moment frame (SMF). Los elementos columnas y vigas se los grafica con elementos tipo "frame", con secciones tipo I laminadas en caliente, las vigas secundarias o las correas sobre los cuales se asienta la placa colaborante tienen secciones tipo I y están colocadas en sentido perpendicular con respecto al DECK, se las modela como vigas compuestas, las losas fueron modeladas como elementos tipo "Floor/Wall", cuyas características fueron definidas como un sistema de entrepiso DECK1.

La condición de apoyo de las columnas es considerado como un simple apoyo, por las características constructivas que se dan cuando se trabaja con estructuras de acero, el trabajar con un empotramiento perfecto resulta una dificultad el momento de la construcción pues se debe asegurar que se de este empotramiento.

Para el análisis estático se define los tipos de solicitaciones a los que estarán sometido los modelos, se define cargas para peso propio (Dead), carga viva (Live), carga muerta (Super Dead), y las cargas para el análisis sísmico estático (Seismic). La creación de las cargas para el análisis sísmico estático se realiza con la opción "User Coefficient" que permite ingresar el coeficiente obtenido en el cortante basal. Este análisis está formado por 4 casos de carga sísmica, en los cuales se evalúa el efecto del sismo en la dirección "x" y "y", más el efecto de la excentricidad ya sea esta positiva o negativa. Una vez creados los diferentes estados de carga, se definen las combinaciones de cargas señaladas en la sección 0.

Los valores de carga permanente (paredes, instalaciones, etc) y de sobrecarga de uso se ingresan como cargas uniformemente distribuidas sobre los elementos modelados como losas.

## 1.4 Análisis modal espectral

Constituye un análisis dinámico elástico de la estructura, que utiliza la máxima respuesta de todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura. Las respuestas modales máximas son calculadas utilizando las ordenadas de un espectro de respuesta, que corresponden a los periodos de los modos de vibración. Las contribuciones modales máximas son combinadas de una forma estadística para obtener una aproximación de la respuesta estructural total. (Peligro sísmico y Requisitos de diseño sismo resistente, 2013)

### 1.4.1 Espectro elástico de respuesta

El espectro de respuesta elástico de aceleraciones expresado como fracción de la aceleración de la gravedad  $S_a$ , obedece a una fracción de amortiguamiento respecto al crítico de 0.05, (Peligro sísmico y Requisitos de diseño sismo resistente, 2013). Para determinar el espectro elástico de aceleraciones utilizamos las ecuaciones expuestas en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, como se muestra en la Figura 3.

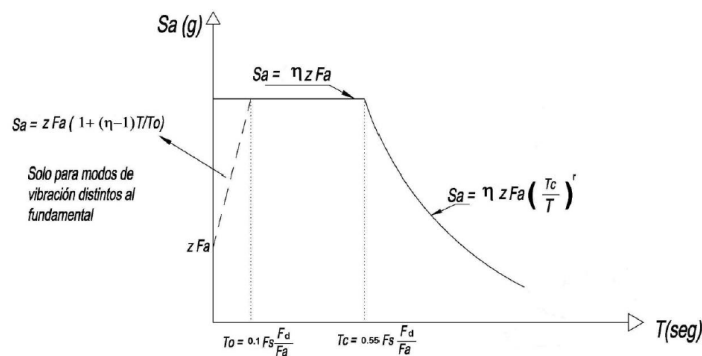


Figura 3. Espectro sísmico elástico de aceleraciones (NEC – 11)

### 1.4.2 Modos de vibración

Los modos de vibración indican la forma como va a responder la estructura durante un sismo o una excitación dinámica (Aguiar, 2012). Existen varios modos en los que una estructura puede vibrar u oscilar frente a una excitación sísmica determinada. Cada modo tiene además una deformada característica y una frecuencia de vibración asociada diferente. (Martinez, 2013)

Los 3 primeros modos de vibración de una estructura son los más representativos, el primer y segundo modo de vibración representan el desplazamiento lateral de la estructura y el tercer modo representa la torsión.



Figura 4. Modos de Vibración (Sísmica, 2014)

#### **1.4.3 Número de modos**

Se deben considerar en el análisis todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura. (Peligro sísmico y Requisitos de diseño sismo resistente, 2013). En este análisis se han tomado 12 modos.

#### **1.4.4 Combinación de modos**

Para la selección de la dirección de aplicación de las fuerzas sísmicas, deben considerarse los efectos ortogonales, los cuales pueden calcularse como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los efectos producidos por el 100% de las fuerzas sísmicas actuando independientemente en las dos direcciones ortogonales, asignándole el signo que conduzca al resultado más conservador. (Peligro sísmico y Requisitos de diseño sismo resistente, 2013)

#### **1.4.5 Modelación dinámica**

Para realizar el análisis modal espectral en el programa ETABS 2013 se ingresa el espectro de diseño de la estructura, con el cual el programa simulara un sismo tanto en “x” como en “y”. Al definir el estado de carga que simulara el sismo, se define un factor de escala que viene dado por:

$$f_e = \frac{I}{R\phi_e\phi_p} * g$$

donde,  $f_e$  es factor de escala y  $g$  es la gravedad

Para las estructuras regulares e irregulares tenemos un factor de escala  $f_e = 2124,77 \text{ mm/s}^2$ . De igual manera siguiendo las especificaciones del código el factor de amortiguamiento a considerar es de 0,05. Este estado de carga será el mismo para el sismo en “x” como para el sismo en “y”.

Para cumplir con los requerimientos de NEC con respecto a la combinación modal en ETABS modal marcamos en CQC que es una combinación cuadrática completa y para la combinación direccional se marca SRSS que es suma de la raíces de la suma de sus cuadrados.

Al igual que en el análisis estático se debe establecer la distribución de masas de acuerdo a lo especificado, y las respectivas combinaciones de carga adicionando las que incluyan al sismo creado con el espectro, estas combinaciones son:

1,2 CM + 1,0CV + EQESPECTRAL

0,9 CM + EQESPECTRAL

## 1.5 Análisis paso a paso en el tiempo

Este análisis se basa en usar una demanda en la estructura por medio de un registro sísmico. Al usar un registro sísmico la estructura va a seguir una historia de disipación de energía dependiendo de los contenidos de frecuencias y amplitudes de aceleración del sismo, es por ello que el análisis tiempo-historia es importante, nos da una respuesta estructural que depende del desarrollo del sismo. (Gálvez, 2011)

### 1.5.1 Registros acelerográficos

De acuerdo al literal 2.7.7.7 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, los análisis paso a paso en el tiempo deben realizarse utilizando las dos componentes horizontales de los registros de acelerogramas de no menos de 3 eventos sísmicos. Ambas componentes de los acelerogramas deben aplicarse simultáneamente al modelo, a fin de considerar

efectos torsionales. Los parámetros de interés deben calcularse para cada paso de tiempo del registro dato. En la Tabla 6 se describe los sismos utilizados para este análisis, estos registros acelerográficos fueron tomados de la base de datos sísmicos de la tesis de grado del Ing. Paul Guerrero.

Tabla 6. Registros acelerográficos utilizados

Código	Estación	Componente
13a	Llayllay	280°
13b	Llayllay	190°
16a	Llolleo (Universidad de Chile)	100°
16b	Llolleo (Universidad de Chile)	10°
32a	Estación de Filandia (CFLAN)	E-W
32b	Estación de Filandia (CFLAN)	N-S

Los dos primeros registros acelerográficos pertenecen al Sismo ocurrido en Chile el 03/03/1995, cuya magnitud fue de 7.8, y el último par de registros pertenecen al Sismo que sacudió Colombia el 25/03/1999 y tiene una magnitud de 6.2.

Con la ayuda del programa DEGTRA A4, se obtiene el espectro elástico de aceleraciones para cada uno de los acelerogramas, estos espectros se presentan en la Figura 5.

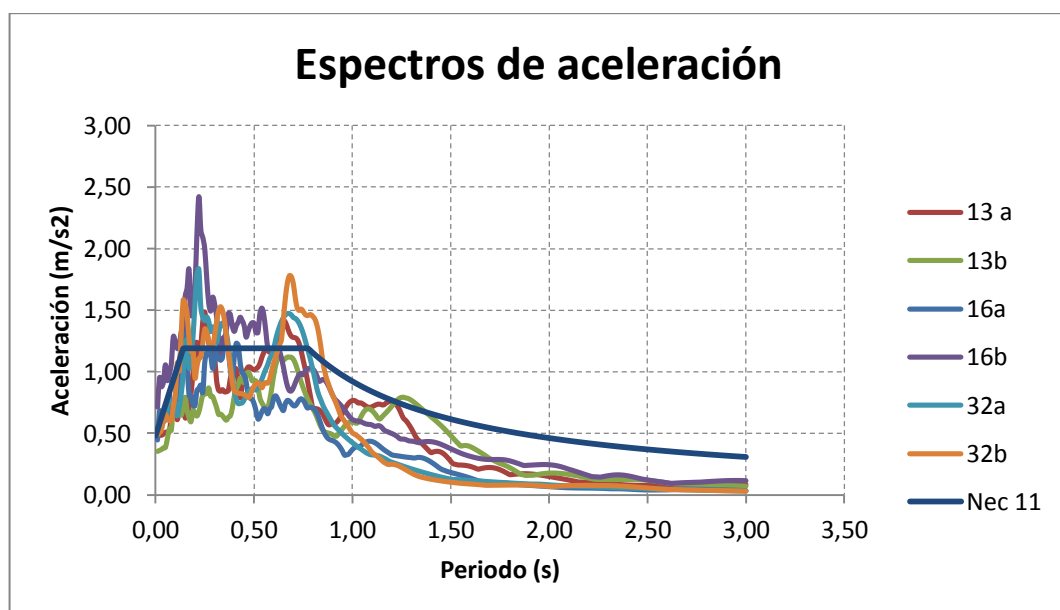


Figura 5. Espectros de respuesta de sismos seleccionados

### 1.5.2 Escalamiento de Espectros

Para realizar el escalamiento de sismos, utilizamos el periodo obtenido del análisis modal espectral para el modelo estructural de 4 pisos, un periodo de 0.78 segundos, a partir del cual se determina un factor de escalamiento calculado con el siguiente procedimiento:

- Determinar la aceleración obtenida para este periodo, en los espectros de los registros acelerográficos ( $A_{ra}$ ) y el espectro del NEC 11 ( $A_{NEC}$ )
- El factor de escalamiento ( $fe$ ) es la fracción entre la aceleración  $A_{NEC} / A_{ra}$
- Para obtener los espectros escalados se multiplica  $fe$  por los valores de aceleración del espectro a escalar.
- Se observa que en el periodo seleccionado, el valor de las aceleraciones sea igual en los dos espectros.

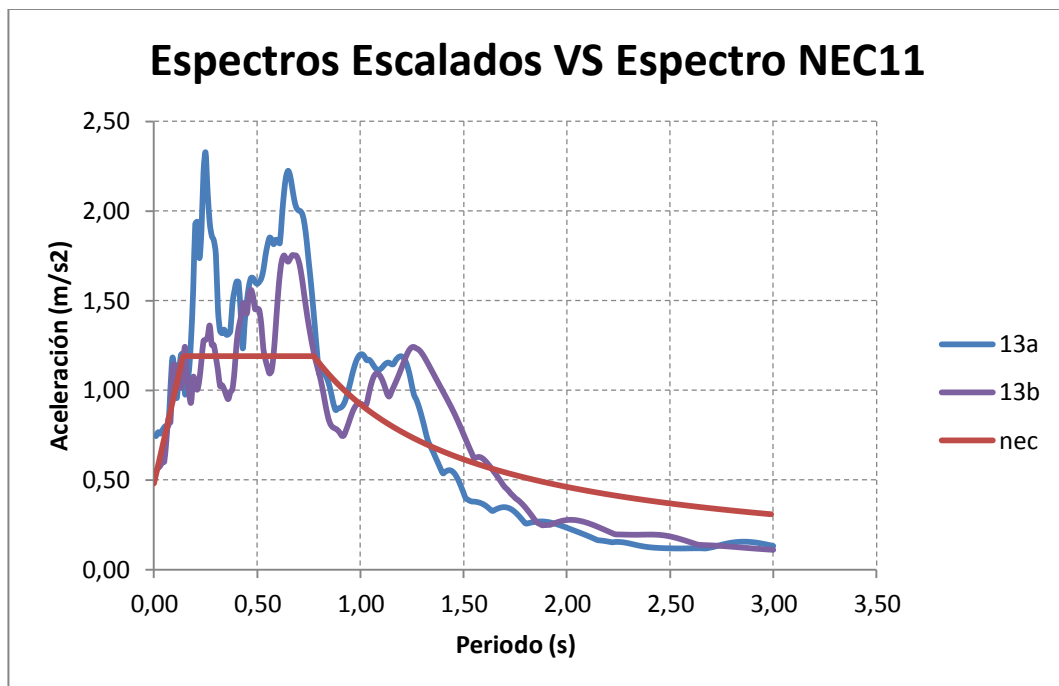


Figura 6. Espectro escalado 13a-13b VS Espectro NEC 11

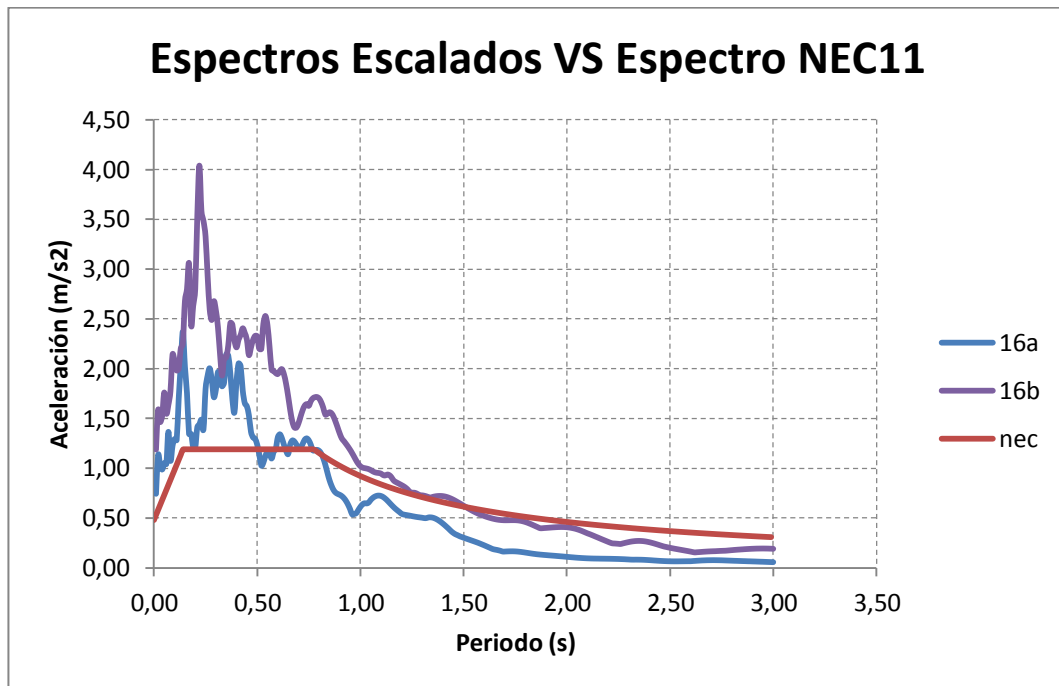


Figura 7 Espectro escalado 16a-16b VS Espectro NEC 11

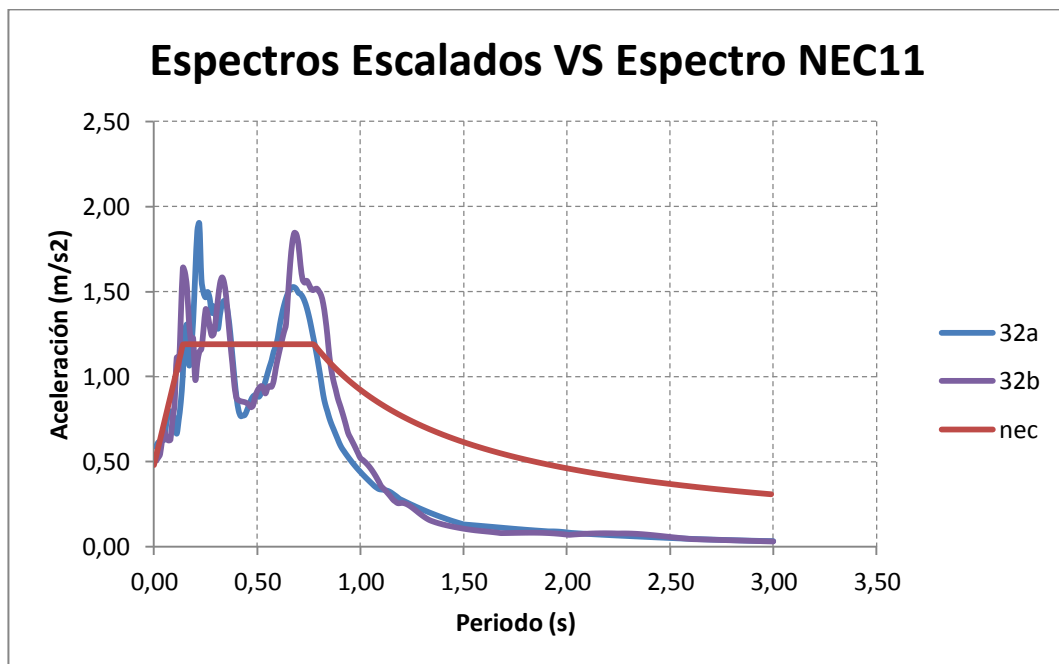


Figura 8 Espectro escalado 32a-32b VS Espectro NEC 11



### 1.5.3 Análisis lineal paso a paso en el tiempo

Para realizar este análisis utilizando el programa ETABS 2013 es necesario ingresar los registros acelerográficos de las dos componentes del sismo y definir el correspondiente estado de carga.

#### 1.5.3.1 Modelación paso a paso lineal

A continuación se presenta la secuencia adecuada para realizar una correcta modelación dinámica lineal:

- a) Registros acelerográficos: Para ingresar los acelerogramas se utiliza el menú Define → Functions → Time History, como se observa en la Figura 9.

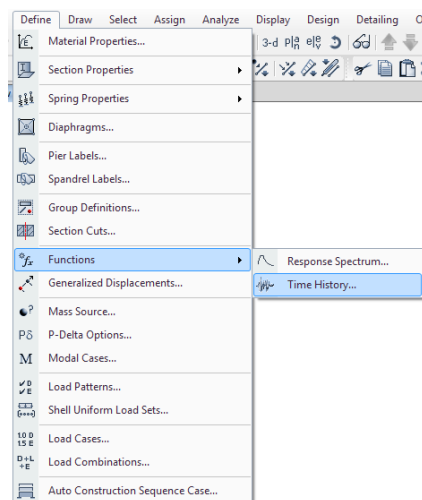


Figura 9. Secuencia – Ingreso de registros acelerográficos

En la ventana de la Figura 10, se define el registro acelerográfico a utilizar.

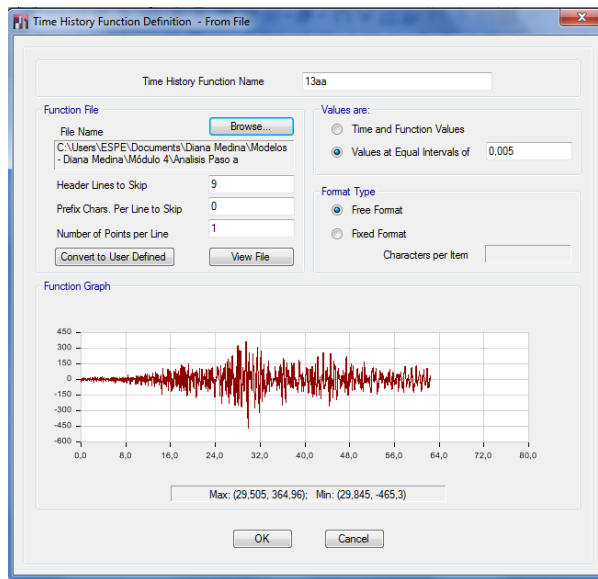


Figura 10. Ventana - Time History Function Definition – From File

- b) Estado de carga: Se define el estado de carga teniendo en cuenta las consideraciones presentadas en la Figura 11, donde el factor de escala es calculado como:

$$f_{ee} = \frac{I}{R\phi_e\phi_p} * f_e * 10$$

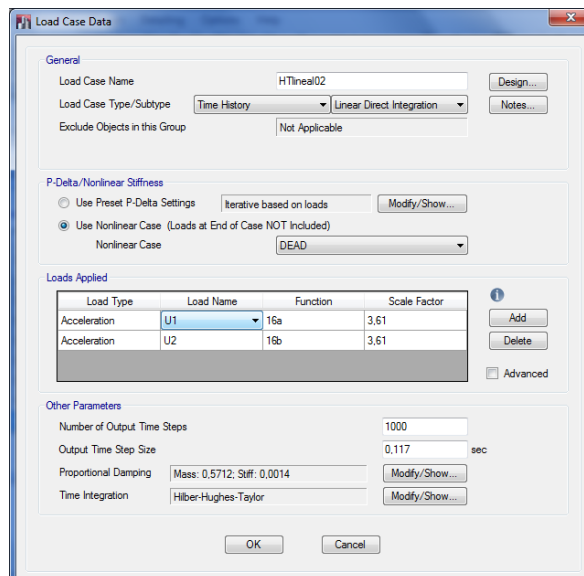


Figura 11. Caso de carga – Análisis Lineal

*Proportional Damping.*- Depende del amortiguamiento y se calcula o modifica de acuerdo a la Figura 12

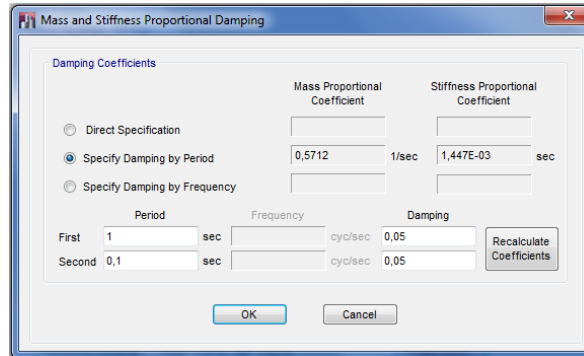


Figura 12. Proportional Damping

### 1.5.3.2 Resultados del análisis paso a paso en el tiempo lineal

Este análisis es aplicado al cuarto módulo, debido a que este representa la estructura más completa del análisis, la respuesta en el tiempo de la estructura se muestra para los distintos acelerogramas en las Figura 13, Figura 14 y Figura 15 respectivamente. En la Tabla 7 se detallan los desplazamientos máximos obtenidos del análisis

Tabla 7. Desplazamientos máximos

<b>Sismo</b>	Tiempo (s)	Desplazamiento máximo (mm)	Tiempo (s)	Desplazamiento mínimo (mm)
<b>13</b>	32,10	65,72	32,46	-62,41
<b>16</b>	38,49	51,73	38,14	-60,22
<b>32</b>	14,022	57,87	14,43	-57,57

- 13a y 13b

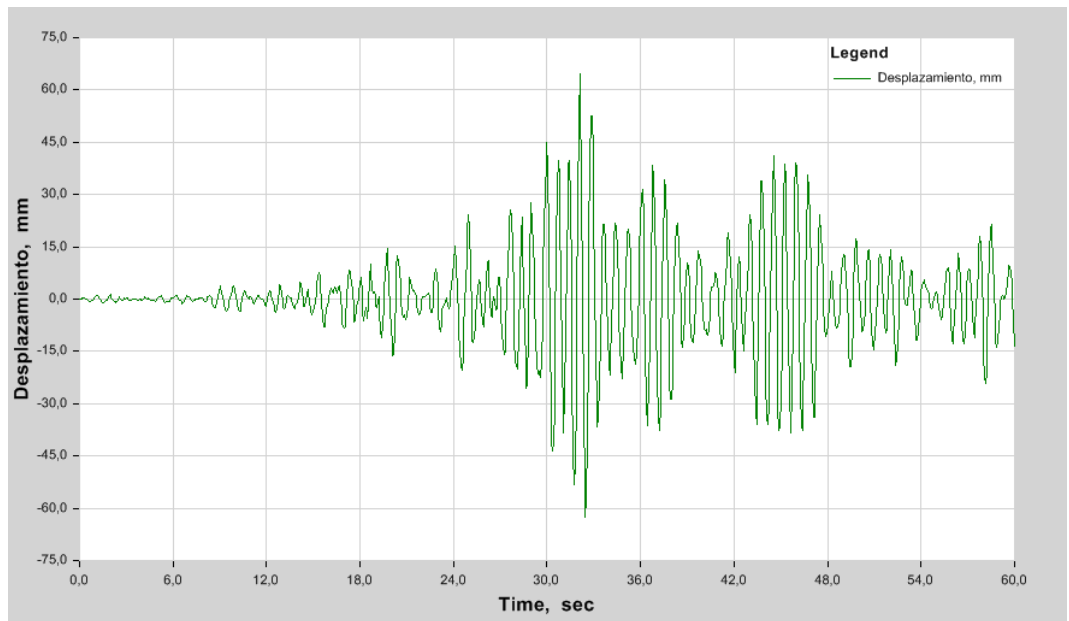


Figura 13. Respuesta en el tiempo con acelerograma 13a y 13b

- 16a y 16b

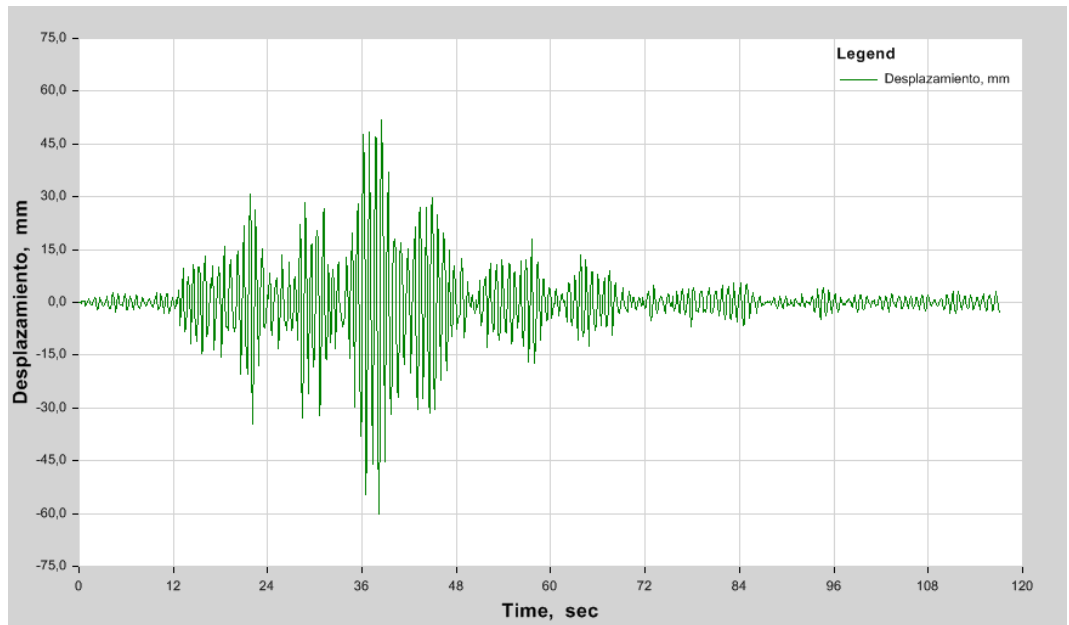


Figura 14. Respuesta en el tiempo con acelerograma 16a y 16b

- 32a y 32b

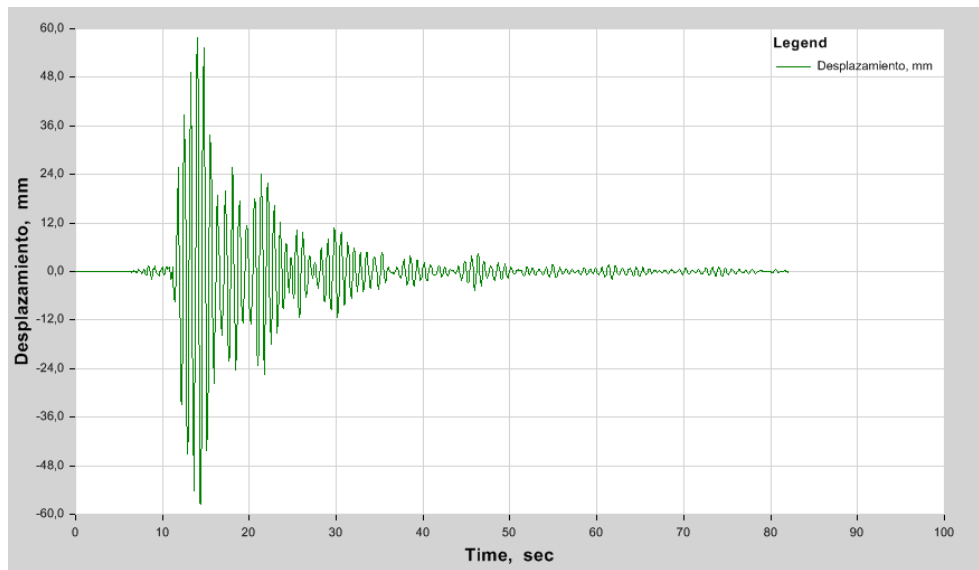


Figura 15. Respuesta en el tiempo con acelerograma 32a y 32b

La respuesta en el tiempo de la fuerza en la base de las columnas bajo la acción de los acelerogramas seleccionados se presenta en la Figura 16, Figura 17 y Figura 18.

- 13a y 13b

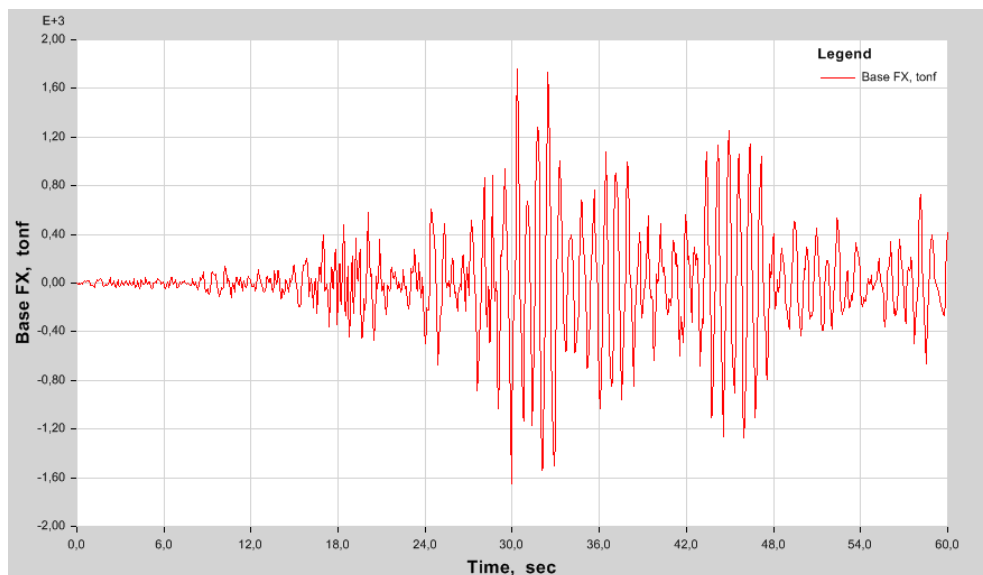


Figura 16. Respuesta en el tiempo- Fuerza basal acelerograma 13a y 13b

- 16a y 16b

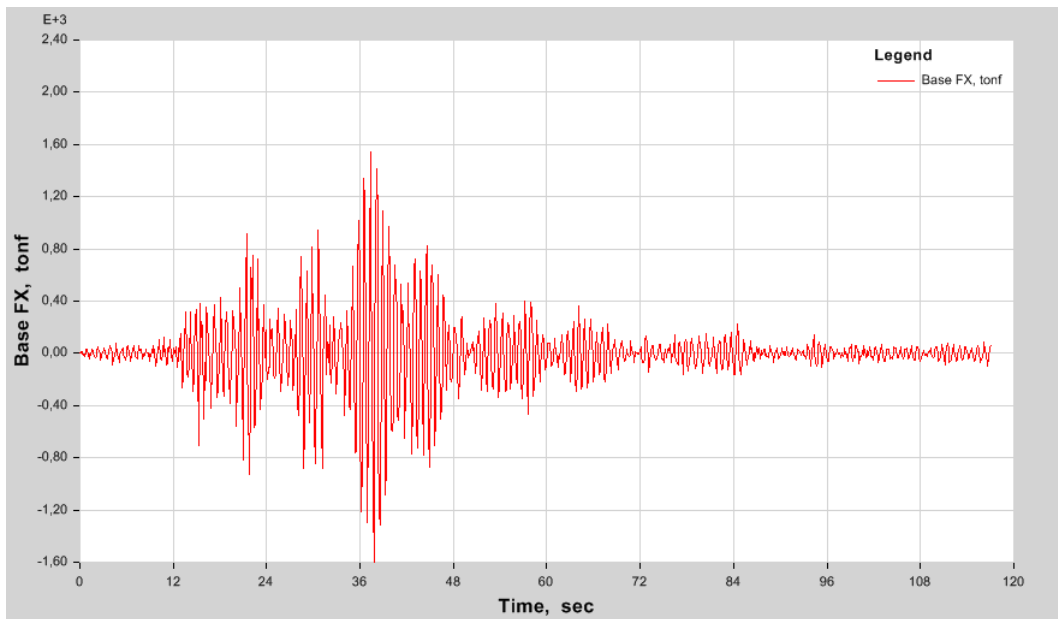


Figura 17. Respuesta en el tiempo- Fuerza basal acelerograma 16a y 16b

- 32a y 32b

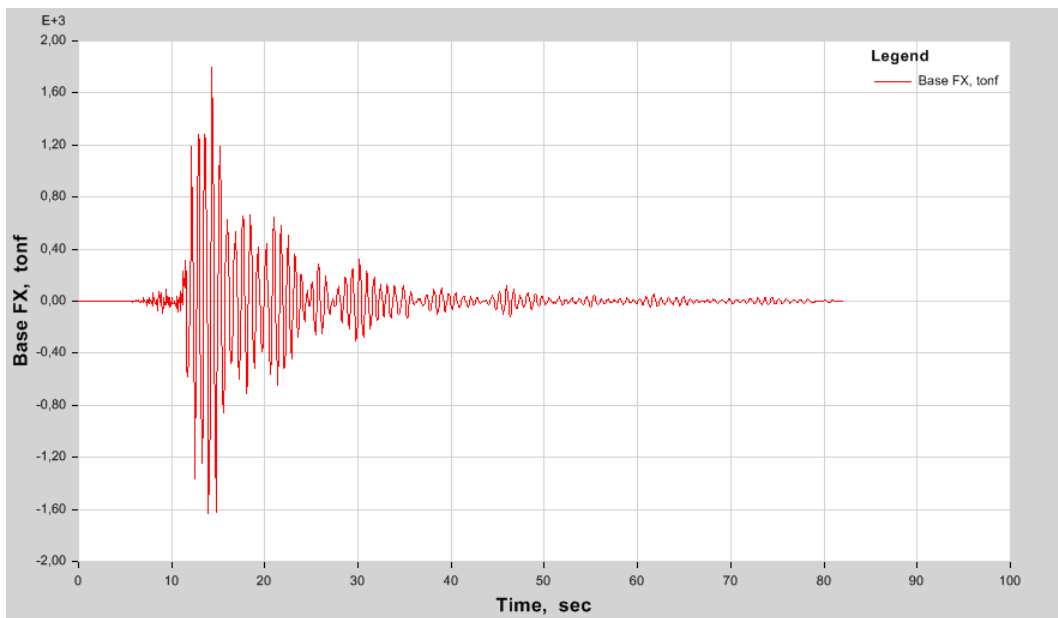


Figura 18. Respuesta en el tiempo- Fuerza basal acelerograma 32a y 32b

En la Tabla 8 se detalla la fuerza basal máxima para cada uno de los sismos.

Tabla 8. Fuerza basal máxima

<b>Sismo</b>	Tiempo (s)	Fuerza Basal (T)	Tiempo (s)	Fuerza Basal (T)
<b>13</b>	30,36	1756,99	29,94	-1646,00
<b>16</b>	37,32	1546,20	37,79	-1597,00
<b>32</b>	14,35	1793,02	13,94	-1629,00