

UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESPECIALIDAD EN:

“ESTRUCTURAS DE ACERO Y HORMIGÓN ARMADO”

TÍTULO DE LA MONOGRAFÍA:

**DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA Y
ESPECTROS DE DISEÑO ELÁSTICOS E INELÁSTICOS PARA LA
CIUDAD DE CUENCA**

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN**

**DEL GRADO DE ESPECIALISTA EN
ESTRUCTURAS DE ACERO Y HORMIGÓN ARMADO**

**NOMBRE DEL ALUMNO: HENRY VINICIO BERMEO MOYANO
C.I.: 0102868569**

**NOMBRE DEL DIRECTOR: ING. FERNANDO JOSE MATO
MENDEZ PHD.**

No. Id.: Pasaporte XDC379250

FECHA: DICIEMBRE DE 2016

CUENCA - ECUADOR



RESUMEN

Con la información de los eventos sísmicos de la ciudad de Cuenca recopilados durante más de diez años por el Laboratorio Sísmico de la Universidad de Cuenca, se realizaron los procesos técnicos para la obtención de nuevos espectros de diseño de construcción, realizando un posterior análisis con los espectros que se presenta en la Norma Ecuatoriana de la Construcción "NEC-SE". Se observó que la "NEC-SE" sobrevalora el efecto sísmico en la localidad y se sugiere utilizar esta información para el cálculo y diseño de estructuras en la ciudad de Cuenca.

Palabras Claves: aceleración, espectros, sismos – resistencia, ingeniería sísmica.

ABSTRACT

With the information of seismic events in the Cuenca city collected for over ten years by the Seismic Laboratory of the University of Cuenca, the technical processes for the production of new building design spectra were performed, making further analysis with spectra which are presented in the Norma Ecuatorian Construction "NEC-SE". It shows that the "NEC-SE" overestimates the seismic effect on the locality and it is suggested to use this information for calculation and design of structures in the Cuenca City.

Keywords: acceleration, spectra, earthquakes - resistance, seismic engineering.



ÍNDICE DEL CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICAS	viii
ÍNDICE DE MAPAS	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
Planteamiento del Problema	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos	3
Hipótesis	3
Metodología de la Investigación.....	3
Identificación de las Tareas de Investigación	4
Alcance.....	4
CAPITULO 1.....	5
1. ESTADO DEL ARTE	5
1.1 Sismología	5
1.1.1 Tectónica de placas y origen de los sismos.....	5
1.1.2 Ondas sísmicas	8
1.2 ingeniería sísmica	9
1.2.1 Características de los sismos.....	10
1.2.2 Acelerogramas y aceleraciones máximas.....	17



1.2.3	Características de equipos y acelerogramas.....	18
CAPÍTULO 2.....		21
2.	DINÁMICA ESTRUCTURAL	21
2.1	Sistemas de un grado de libertad (1gdl).....	21
2.2	Ecuación de movimiento	21
2.3	Espectros de respuesta.....	22
2.3.1	Cálculo de los espectros de respuesta	22
2.3.2	Tendencias de los espectros de respuesta.....	23
2.4	Espectros de diseño	25
2.4.1	Espectros elásticos.....	25
2.4.2	Espectros inelásticos.....	27
CAPÍTULO 3.....		29
3.	RECOPIACIÓN Y PROCESO DE INFORMACIÓN	29
3.1	Información básica.....	29
3.1.1	Información de la zona de estudio	29
3.1.2	Tipos de Suelos.....	33
3.1.3	Tipos de Estructuras.....	34
3.1.4	Clasificación de Acelerogramas	35
3.2	Proceso de información	37
3.2.1	Procesado de datos.....	37
3.2.2	Tabulación y clasificación.....	43
3.2.3	Normalización de espectros: factores y gráficas.....	54
3.3	Información de espectros de Normas	62



CAPITULO 4.....	66
4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.....	66
4.1 Comparación de espectros – gráficos	66
4.1.1 Gráficas de espectros elásticos	67
4.1.2 Gráficas de espectros inelásticos.....	73
CAPITULO 5.....	82
5. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS	82
5.1 Conclusiones.....	82
5.2 Líneas Futuras.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Continente PANGEA-océano PANTALASA	5
Figura 2. Placas Tectónicas – Continentes Actuales	6
Figura 3. Movimiento de las placas, (a) expansión, (b) subducción	7
Figura 4. Deformaciones producidas por las ondas de cuerpo: (a) onda P, (b) onda S.....	8
Figura 5. Deformaciones producidas por las ondas superficiales: (a) onda Rayleigh, (b) onda Love.....	9
Figura 6. Esquema relativo de foco, epicentro, censor y sitio de estudio	11
Figura 7. Mecanismo de Wood-Anderson, para calcular la energía liberada de un movimiento	12
Figura 8. Esquema de sensor de movimiento.....	17



Figura 9.	Acelerogramas de la RSA de un evento sísmico.....	20
Figura 10.	Modelo de un Sistema de un grado de libertad	21
Figura 11.	Representación esquemática de un espectro de respuesta	22
Figura 12.	Esquema de transición de la respuesta de una acción sísmica	26
Figura 13.	Espectro inelástico (trilogarítmico) de Newmark y Hall.....	28
Figura 14.	Equipo Acelerográfico tipo SSA-1	36
Figura 15.	Equipo Acelerográfico tipo SSA-2.....	36
Figura 16.	Equipo Acelerográfico tipo ETNA.....	36
Figura 17.	Software de visualización de eventos registrados. Ejemplo: TERREMOTO de Pedernales; estación Universidad de Cuenca.	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Tabla de Magnitudes: Efectos típicos de los sismos de diversas magnitudes	14
Tabla 2.	Intensidades. Escala de Mercalli Modificada(MM)	16
Tabla 3.	Población Cantón Cuenca.....	31
Tabla 4.	Clasificación de los perfiles de suelo según NEC-SE-DS.....	33
Tabla 5.	Estaciones Acelerográficas de la RSA con ubicación y tipo de perfil de suelo	34
Tabla 6.	Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada	34
Tabla 7.	Lista de Estaciones y Nro de Registros Procesados	44
Tabla 8.	Eventos registrados en la estación UNIVERSIDAD DE CUENCA	45
Tabla 9.	Eventos registrados en la estación REGISTRO CIVIL	46
Tabla 10.	Eventos registrados en la estación MIRAFLORES	49
Tabla 11.	Eventos registrados en la estación CHANLUD BASE.....	51



Tabla 12.	Eventos registrados en la estación PRESA DANIEL PALACIOS BASE.....	51
Tabla 13.	Eventos registrados en la estación PRESA MAZAR BASE	53
Tabla 14.	Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs, para la ciudad de Cuenca (Zona II)..	64

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1.	Espectros de respuesta. Ejemplo de suelo semi-rígido	23
Gráfico 2.	Espectros normalizados. Ejemplo de suelo semi-rígido.....	24
Gráfico 3.	Espectros normalizados. Ejemplo de suelo rígido (roca)	24
Gráfico 4.	Espectros normalizado. Ejemplo de suelo blando	25
Gráfico 5.	Espectros inelásticos Ejemplo en suelo de roca.	28
Gráfico 6.	Espectros normalizados de la estación: Universidad de Cuenca	56
Gráfico 7.	Espectros normalizados de la estación: Universidad de Cuenca, de eventos con epicentro $\leq 100\text{km}$	56
Gráfico 8.	Espectros normalizados de la estación: Universidad de Cuenca, de eventos con epicentro $> 100\text{km}$	56
Gráfico 9.	Espectros normalizados de la estación: Registro Civil.....	57
Gráfico 10.	Espectros normalizados de la estación: Registro Civil, de eventos con epicentro $\leq 100\text{km}$	57
Gráfico 11.	Espectros normalizados de la estación: Registro Civil, de eventos con epicentro $> 100\text{km}$	57
Gráfico 12.	Espectros normalizados de la estación: Miraflores	58
Gráfico 13.	Espectros normalizados de la estación: Miraflores, de eventos con epicentro $\leq 100\text{km}$	58
Gráfico 14.	Espectros normalizados de la estación: Miraflores, de eventos con epicentro $> 100\text{km}$	58



Gráfico 15.	Espectros normalizados de la estación: CHANLUD BASE	59
Gráfico 16.	Espectros normalizados de la estación: CHANLUD BASE, de eventos con epicentro $\leq 100\text{km}$	59
Gráfico 17.	Espectros normalizados de la estación: CHANLUD BASE, de eventos con epicentro $> 100\text{km}$	59
Gráfico 18.	Espectros normalizados de la estación: PRESA D.P. BASE	60
Gráfico 19.	Espectros normalizados de la estación: PRESA D.P. BASE, de eventos con epicentro $\leq 100\text{km}$	60
Gráfico 20.	Espectros normalizados de la estación: PRESA D.P. BASE, de eventos con epicentro $> 100\text{km}$	60
Gráfico 21.	Espectros normalizados de la estación: MAZAR BASE	61
Gráfico 22.	Espectros normalizados de la estación: MAZAR BASE, de eventos con epicentro $\leq 100\text{km}$	61
Gráfico 23.	Espectros normalizados de la estación: MAZAR BASE, de eventos con epicentro $> 100\text{km}$	61
Gráfico 24.	Espectro Elástico de aceleraciones S_a para el sismo de diseño de la NEC-SE-DS	63
Gráfico 25.	Espectros de diseño de la NEC-SE-DS-2015 para la Ciudad de Cuenca	64
Gráfico 26.	Espectros de diseño de la NEC-SE-DS-2015 para la Ciudad de Cuenca Sin Pendiente inicial	65
Gráfico 27.	Comparación de espectros. Estación Universidad de Cuenca. Eventos cercanos.	67
Gráfico 28.	Comparación de espectros. Estación Universidad de Cuenca. Eventos lejanos. 67	
Gráfico 29.	Comparación de espectros. Estación Registro Civil. Eventos cercanos	68
Gráfico 30.	Comparación de espectros. Estación Registro Civil. Eventos lejanos.	68
Gráfico 31.	Comparación de espectros. Estación Miraflores. Eventos cercanos.	69



Gráfico 32.	Comparación de espectros. Estación Miraflores. Eventos lejanos.	69
Gráfico 33.	Comparación de espectros. Estación Chanlud Base. Eventos cercanos.	70
Gráfico 34.	Comparación de espectros. Estación Chanlud Base. Eventos lejanos.	70
Gráfico 35.	Comparación de espectros. Estación Presa D.P. Base. Eventos cercanos.	71
Gráfico 36.	Comparación de espectros. Estación Presa D.P. Base. Eventos lejanos.	71
Gráfico 37.	Comparación de espectros. Estación MAZAR Base. Eventos cercanos.	72
Gráfico 38.	Comparación de espectros. Estación MAZAR Base. Eventos lejanos.	72
Gráfico 39.	Espectros inelásticos. Estación Universidad de Cuenca. sismo Tipo1. componente horizontal longitudinal	74
Gráfico 40.	Espectros inelásticos. Estación Universidad de Cuenca. sismo Tipo1. componente horizontal transversal.....	74
Gráfico 41.	Espectros inelásticos. Estación Universidad de Cuenca. sismo Tipo2. componente horizontal longitudinal	75
Gráfico 42.	Espectros inelásticos. Estación Universidad de Cuenca. sismo Tipo2. componente horizontal transversal.....	75
Gráfico 43.	Espectros inelásticos. Estación Registro Civil. sismo Tipo 1. componente horizontal longitudinal	76
Gráfico 44.	Espectros inelásticos. Estación Registro Civil. sismo Tipo 1. componente horizontal transversal.....	76
Gráfico 45.	Espectros inelásticos. Estación Registro Civil. sismo Tipo2. componente horizontal longitudinal	77
Gráfico 46.	Espectros inelásticos. Estación Registro Civil. sismo Tipo2. componente horizontal transversal.....	77
Gráfico 47.	Espectros inelásticos. Estación MIRAFLORES. sismo Tipo 1. componente horizontal longitudinal	78
Gráfico 48.	Espectros inelásticos. Estación MIRAFLORES. sismo Tipo 1. componente horizontal transversal.....	78



Gráfico 49.	Espectros inelásticos. Estación MIRAFLORES. sismo Tipo 2. componente horizontal longitudinal.....	79
Gráfico 50.	Espectros inelásticos. Estación MIRAFLORES. sismo Tipo 2. componente horizontal transversal.....	79
Gráfico 51.	Espectros Inelásticos. Estación CHANLUD BASE, sismo Tipo 1. componente horizontal longitudinal.....	80
Gráfico 52.	Espectros inelásticos. Estación CHANLUD BASE. sismo Tipo 1. componente horizontal transversal.....	80
Gráfico 53.	Espectros inelásticos. Estación CHANLUD BASE, sismo Tipo 2. componente horizontal longitudinal.....	81
Gráfico 54.	Espectros inelásticos. Estación CHANLUD BASE. sismo Tipo 2. componente horizontal transversal.....	81

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1.	División Provincial – Ubicación Cantón Cuenca.	29
Mapa 2.	Parroquias Urbanas-Cuenca.....	30
Mapa 3.	Parroquias Rurales y zona urbana-Cuenca.....	30
Mapa 4.	Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño y valor del factor de zona Z.....	31
Mapa 5.	Peligro Sísmico del Austro del Ecuador. (Mapa de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 475 años).....	32
Mapa 6.	Principales Fallas Geológicas del Austro del Ecuador.....	32
Mapa 7.	Estaciones DE ACELERÓGRAFOS de la RSA.....	37



Henry Vinicio Bermeo Moyano, autor de la monografía "DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA Y ESPECTROS DE DISEÑO ELÁSTICOS E INELÁSTICOS PARA LA CIUDAD DE CUENCA", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS DE ACERO Y HORMIGÓN ARMADO. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a

Cuenca, 09 de diciembre de 2016

Henry Vinicio Bermeo Moyano

C.I: 0102868569



Henry Vinicio Bermeo Moyano, autor de la tesis "DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA Y ESPECTROS DE DISEÑO ELÁSTICOS E INELÁSTICOS PARA LA CIUDAD DE CUENCA", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 09 de diciembre de 2016

A handwritten signature in blue ink, reading 'Henry Vinicio Bermeo M.', written over a horizontal line.

Henry Vinicio Bermeo Moyano

C.I: 0102868569



AGRADECIMIENTO

A mi esposa, a mis hijos, familiares y amigos, por estar ahí apoyándome en todos los momentos.

De igual forma mi sincero agradecimiento al director de la Monografía Ing. Fernando Mato PhD, quien aportó su valioso conocimiento para desarrollar el presente trabajo. Sin duda agradezco su don de gente con el que ha nacido una gran amistad para trabajar en futuros proyectos de investigación.





DETERMINACIÓN DE ESPECTROS DE RESPUESTA Y ESPECTROS DE DISEÑO ELÁSTICOS E INELÁSTICOS PARA LA CIUDAD DE CUENCA

INTRODUCCIÓN

El Ecuador ha experimentado el poder destructivo de los sismos, sin duda alguna, vivimos en una zona de riesgo sísmico, nada puede hacerse para evitarlos. Pero es conveniente prepararse para responder a sus efectos en las construcciones, y evitar pérdidas humanas lo máximo posible, comprendiendo el fenómeno desde su causa hasta su desarrollo, para dar una respuesta satisfactoria.

En el año de 1990 la Universidad de Cuenca se propone crear un laboratorio sísmico, lo que es hoy en día la “Red Sísmica del Austro” (RSA). Posteriormente, en el año de 1995 con el Cuerpo Suizo de Socorro (CSS), se realiza la instalación de la red sísmográfica. Finalmente, en el año de 1998 con FUNDACYT (Fundación para la Ciencia y Tecnología), se procede a instalar una red de acelerógrafos en la ciudad de Cuenca, Azogues y en la presa de Chanlud, obteniendo información que se sigue recolectando hasta la presente fecha.

Una red de acelerógrafos permite: caracterizar los tipos de suelo, obtener curvas de atenuación de la aceleración, velocidad y desplazamiento de los movimientos sísmicos y obtener factores de amplificación para eventos fuertes. Con esta información se puede mejorar el diseño estructural de las edificaciones, proporcionando para ello los parámetros necesarios para el análisis dinámico de las estructuras, mediante el uso de espectros sísmicos propios de la región.

Las investigaciones relacionadas a este tema en el país han logrado generar códigos y normas para el diseño sismo-resistente de las estructuras, el primero fue presentado por el INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, INEN con el capítulo “CPE INEN 5 PARTE 1:2001 CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO” CEC-2001. El segundo es la “NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN capítulo PELIGRO SÍSMICO – Diseño Sismo Resistente” NEC-SE-DS-2015. Antes de estas normativas se utilizaba normas extranjeras y los espectros de diseño provenían de suelos parecidos a los nuestros. La norma actual presenta espectros de diseño con las características de nuestros suelos. Sin embargo, se sigue registrando sismos locales y se generan más



espectros. Por lo tanto, es necesario evaluar los espectros existentes en las normas con los espectros que generan los últimos eventos sísmicos registrados.

Esta monografía aborda el estudio del comportamiento de los suelos de la Ciudad de Cuenca por medio de espectros obtenidos por el registro de acelerogramas, registrados en la Red Sísmica del Austro (RSA: Laboratorio Sísmico de la Universidad de Cuenca). Con los espectros vigentes de la normativa y los espectros de los últimos eventos sísmicos, se puede evaluar y discutir la información, permitiendo indicar si los espectros de diseño normados cumplen o requieren un ajuste.

Planteamiento del Problema

Como se explicó en el apartado anterior, es necesario evaluar los espectros presentes en las normas, con espectros de los últimos eventos sísmicos, con el objetivo de conocer si cumplen con los diversos comportamientos de los suelos ante eventos sísmicos.

Además, los espectros de diseño propuestos por las normas, son obtenidos de varias investigaciones para todas las regiones del país y para diferentes tipos de suelo. Sin embargo, al ser estandarizados para toda una región, esta información posiblemente puede desvalorar o sobrevalorar el comportamiento sísmico local.

Ahora bien, nos preguntamos: ¿se conoce realmente el comportamiento sísmico de los suelos de Cuenca?; ¿se considera óptimamente la carga sísmica en los diseños estructurales para las construcciones de Cuenca?, y ¿existe información que conduzca a conocer el comportamiento dinámico de los suelos en la zona de estudio? Éstas preguntas pueden ser respondidas solamente procesando información de más registros sísmicos obtenidos localmente.

Objetivo General

Recopilar y procesar la información sísmica de los registros acelerográficos obtenidos en la Red Sísmica del Austro para determinar los espectros de respuesta y espectros de diseño elásticos e inelásticos para la Ciudad de Cuenca.



Objetivos Específicos

- Sobre la información que registran las redes sísmicas, dar a conocer y explicar lo que es un registro sísmico, un registro acelerográfico y para qué sirve cada uno.
- Recopilar Información acelerográfica existente.
- Describir el procesamiento de datos y cálculos.
- Estudiar los tipos de suelo de la zona.
- Estudiar y obtener espectros elásticos e inelásticos para la Ciudad de Cuenca.
- Normalizar espectros.
- Analizar y comparar los espectros obtenidos con espectros de normativas.

Hipótesis

- Los espectros acelerográficos obtenidos de nuevos registros y de estaciones locales, permiten conocer mejor el comportamiento dinámico del suelo ante un sismo.
- Con los nuevos espectros obtenidos, se puede evaluar y validar los espectros que presenta la normativa.
- Los nuevos espectros locales permitirán conocer la carga sísmica más cercana a la realidad y la que se debe utilizar en el diseño de estructuras.

Metodología de la Investigación

- Mediante el uso de equipos de monitoreo sísmico, conocer el manejo de la información que registran y tratar dicha información para los objetivos planteados. Uso de herramientas de los fabricantes de los equipos.
- Recopilación de información y organización en función de la ubicación de la estación monitorea y tipo de suelo. Agrupación por estación, fecha y hora de evento. Uso de hojas electrónicas.
- Muestreo de datos: optimizar la extracción de información relevante por medio de métodos estándares.
- Preparación de información, cálculos de factores y coeficientes necesarios para la obtención de espectros de respuesta, siguiendo la teoría de la dinámica estructural.
- Utilización de software -programas de cómputo- que calculen la respuesta de sistemas elásticos e inelásticos de un grado de libertad sometidos a una



excitación basal, orientado a la obtención de espectros de registros sísmicos. El software considera un modelo de un grado de libertad en la que se aplica la ecuación del movimiento que lleva al cálculo de espectros de respuesta, generando distintos sistemas que se identifican usualmente por sus frecuencias o períodos naturales.

- Realización de gráficos comparativos de los espectros obtenidos con los espectros que tiene la normativa, para cada tipo de suelo, en hojas electrónicas. En las gráficas se trazarán las diferencias para analizarlas y permitir fundamentar criterios de diseño.

Identificación de las Tareas de Investigación

- Estudio sobre los equipos de monitoreo sísmico.
- Instalación y calibración de equipos de monitoreo sísmico para obtener registros acelerográficos.
- Extracción y procesamiento de los eventos registrados en los equipos de monitoreo. Obtención de acelerogramas con corrección instrumental y de línea base según proceso propuesto por el fabricante del equipo.
- Obtención de espectros de respuesta y de diseño a partir de los acelerogramas utilizando software que realice procesos técnicamente adecuados.
- Estudiar los tipos de suelos de la Ciudad de Cuenca, organizar información, obtener espectros normados con respecto a los suelos de Cuenca y vincular con los nuevos espectros.
- Analizar y comparar los nuevos espectros obtenidos con los que muestra la Norma.

Alcance

La monografía se organiza como sigue: al inicio se presenta un breve resumen de conceptos básicos de la Sismología e Ingeniería Sísmica; en seguida se presenta definiciones sobre la aceleración que produce los sismos, los equipos que registran la información sísmica y el tratamiento de los acelerogramas para la obtención de espectros. Se presentan además los nuevos espectros obtenidos de la información registrada por la Red Sísmica del Austro; estos resultados son posteriormente comparados con los espectros de diseño definidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC); para terminar las conclusiones y recomendaciones respectivas, que se presentan al final de la monografía.

CAPITULO 1

1. ESTADO DEL ARTE

1.1 Sismología

1.1.1 Tectónica de placas y origen de los sismos

La tectónica de placas es la teoría que explica la estructura y dinámica de la superficie de la tierra. Una placa tectónica es un fragmento de litósfera (porción superior más fría y rígida de la tierra) que se mueve como un bloque rígido sobre la astenósfera (parte del manto terrestre que se encuentra aproximadamente entre 100 y 240 kilómetros de profundidad). La litósfera está conformada en la actualidad por una serie de placas que componen la superficie terrestre; algunas de estas placas contienen continentes y otras no, existen placas grandes y placas menores o microplacas (Sarria, 1990).

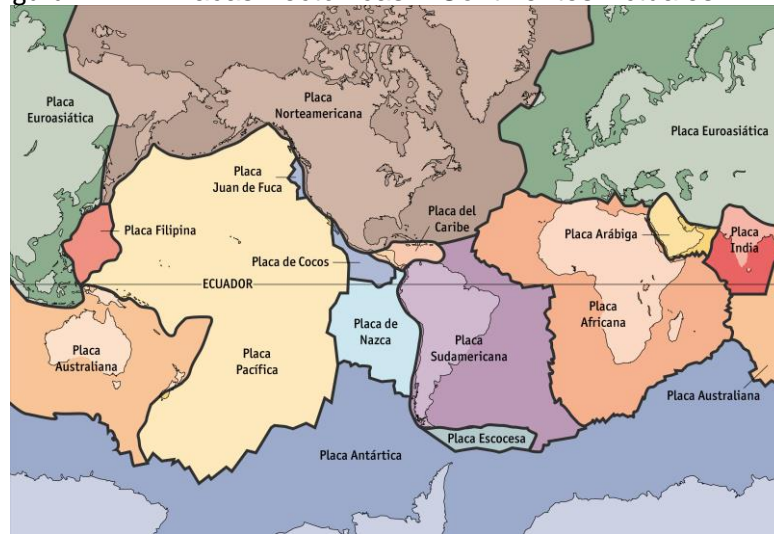
Para entender en forma resumida el origen de los sismos, debemos ir al pasado geológico de nuestro planeta, donde la teoría de las placas tectónicas establece que hace más de 225 millones de años existía un solo continente llamado PANGEA rodeado por una plataforma marina llamada PANTALASA. De este único continente se derivaron todos los continentes que existen hoy en la actualidad, producto de los cambios y el movimiento de las placas tectónicas que se originan por la expansión del lecho oceánico y otros mecanismos que actualmente se desconocen. Estas placas se han desplazado por millones de años y lo seguirán haciendo, concentrando en los bordes de las placas actividad sísmica, volcánica y tectónica (Sarria, 1990).

Figura 1. Continente PANGEA-océano PANTALASA



Fuente: Wikipedia Publicado en 17 de julio de 2013

Figura 2. Placas Tectónicas – Continentes Actuales



Fuente: www.batanga.com...Publicación Guillermo Rodríguez

Es importante especificar que en la convergencia de las placas existen zonas de expansión ubicadas en las dorsales marinas donde aparece nueva superficie terrestre y zonas de subducción o fosas donde desaparece la superficie terrestre. De esta manera se mantiene igual el área del globo terrestre; sin embargo, la ocurrencia de los sismos no siempre se da en la convergencia de las placas (Sarria, 1990). En general, se pueden producir sismos en los siguientes ambientes:

-Zonas de subducción. Zonas correspondientes al choque entre dos placas en las cuales una de las placas se desliza por encima de la otra; en este caso la placa inferior hace desaparecer la superficie terrestre (Sarria, 1990).

-Zona de Benioff de la placa subducida. Este caso es complementario del caso anterior, donde al subducirse la placa, penetra hacia el interior terrestre con una inclinación gobernada por las condiciones regionales; en general el buzamiento varía entre un mínimo de diez a quince grados, hasta un máximo superior a cuarenta y cinco grados. La ocurrencia o no de volcanes asociados a la placa subducida parece depender en buena parte de su buzamiento (Sarria, 1990).

-Fallas geológicas activas en el interior de una placa tectónica. Estas fallas funcionan como fusibles en los mecanismos tectónicos. En zonas de debilidad los esfuerzos tienden a liberarse de vez en cuando, generando sismos; este tipo de sismos es frecuente (Sarria, 1990).

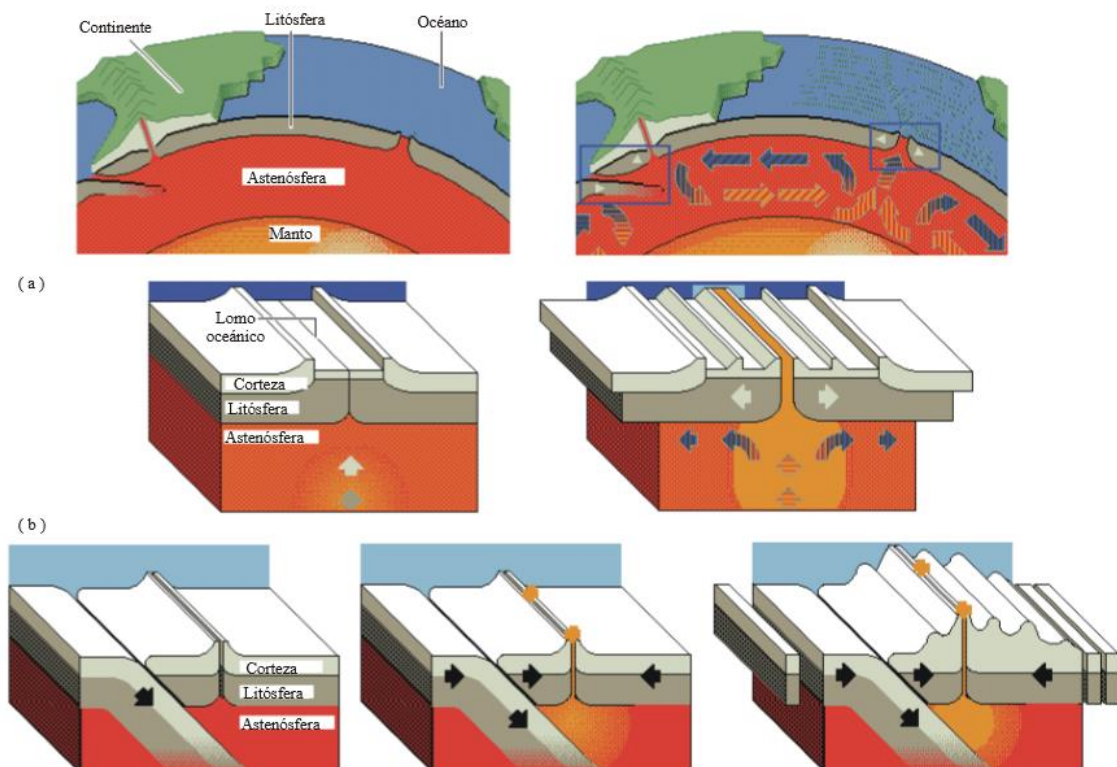
-Sismos Intraplaca. Que ocurren en los interiores de las placas, lejos de sus contornos y de las zonas de falla. Probablemente se originan por la liberación de

esfuerzos residuales que se acumularon en procesos cinemáticos antiguos o en ciclos de derivas continentales anteriores al que actualmente se desarrolla. Este tipo de sismos resulta peligroso porque pueden afectar a ciudades que no han tomado medidas para actividades sísmicas (Sarria, 1990).

-Actividad volcánica. Generalmente produce sismos pequeños, aunque en erupciones extraordinarias puede producir sismos con una intensidad suficientemente elevada para producir daños en construcciones cercanas al volcán.

-Actividad humana. Sismos de origen antrópico, como la explosión de bombas atómicas, grandes cargas de dinamita o simplemente el derrumbe de galerías remanentes de la actividad minera.¹

Figura 3. Movimiento de las placas, (a) expansión, (b) subducción



Fuente: MS, Home (1995). Encarta 95. Interactivo.

¹ Alberto Sarria, 1995, Ingeniería Sísmica, Cap.4: "Tectónica Global y Origen de los Sismos"

1.1.2 Ondas sísmicas

La liberación inesperada de energía en el hipocentro o foco del sismo, se propaga en forma de ondas a través de vibraciones elásticas de deformación. De acuerdo con el medio en que se propagan las ondas sísmicas, se pueden dividir en ondas internas y ondas superficiales (Sarria, 1990).

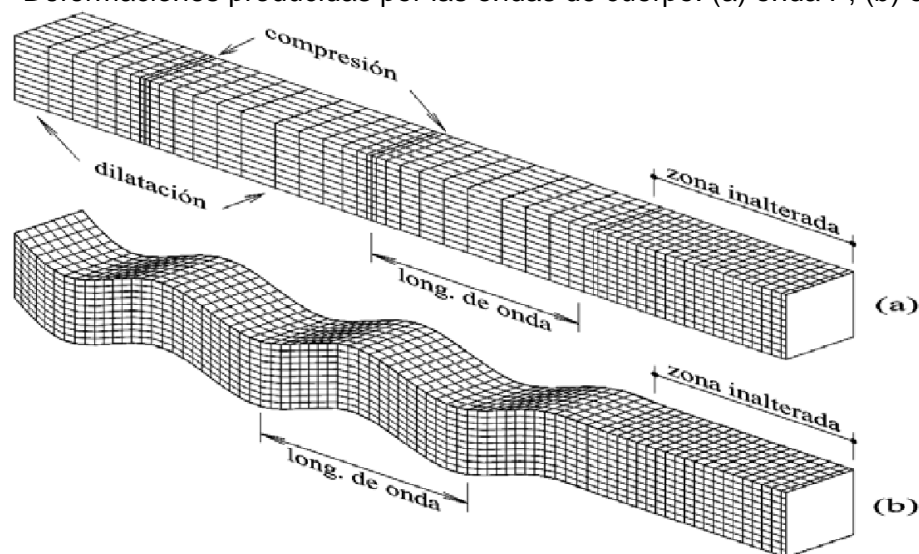
Ondas internas o de cuerpo

Son las que se propagan en el interior de la tierra; estas pueden ser:

- Primarias u ondas P: las que hacen vibrar una partícula en el sentido de la propagación de la onda, originando compresión y dilatación en el medio por el cual se desplazan. Cuando estas ondas alcanzan la superficie de la Tierra, parte de su energía se transforma en ondas sonoras
- Ondas secundarias u ondas S: son las que hacen vibrar las partículas en forma transversal, perpendicular a la dirección de propagación, produciendo esfuerzos de corte en el medio en el que se desplazan. Por las características de estas ondas, ellas se disipan en un medio líquido, porque como es sabido, estos no soportan esfuerzos de corte.

Las ondas P se propagan con velocidades mayores que las ondas S. Estas velocidades de propagación dependen fundamentalmente de la densidad y elasticidad del medio en que se desplazan (Sarria, 1990).

Figura 4. Deformaciones producidas por las ondas de cuerpo: (a) onda P, (b) onda S



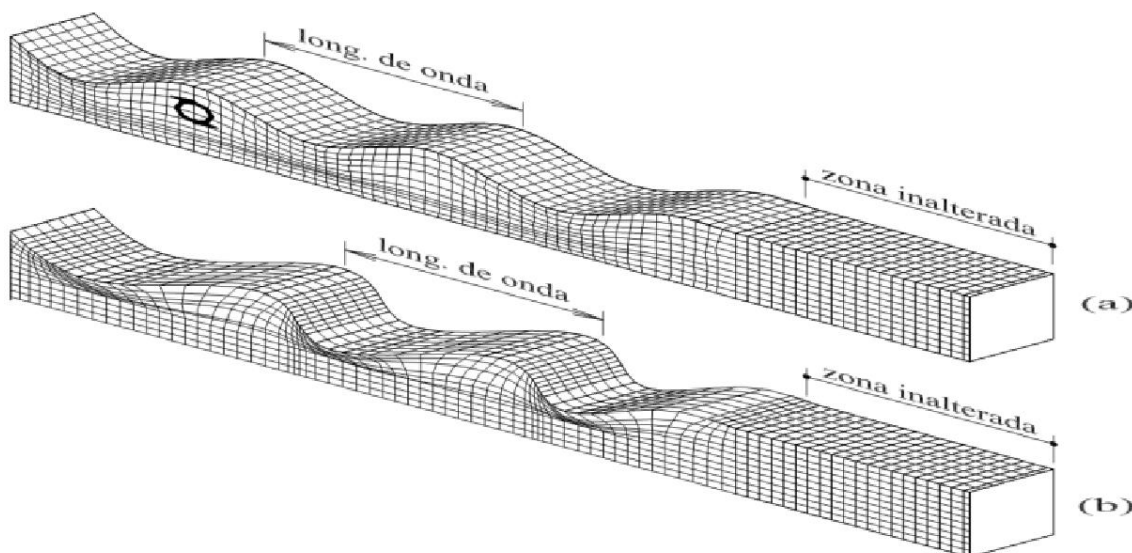
Fuente: BOLT, BRUCE. Earthquakes. P. 9.

Ondas superficiales

Son las originadas por las ondas S, que se transmiten en la superficie de la tierra, hasta profundidades de 30 km. Éstas se clasifican por su forma en:

- Ondas Rayleigh: las partículas se desplazan sobre un plano en dirección de la trayectoria de las ondas con un movimiento elíptico horizontal y vertical simultáneamente (como las olas del mar).
- Ondas Love: hacen que el terreno se desplace en sentido perpendicular a la dirección del movimiento vertical.

Figura 5. Deformaciones producidas por las ondas superficiales: (a) onda Rayleigh, (b) onda Love.



Fuente: BOLT, BRUCE. Earthquakes. P. 9.

Por la forma de movimiento de las ondas “P” y “S” a través de los estratos de la Tierra, estas pueden ser reflejadas o refractadas entre las diferentes densidades de material del suelo, razón por la cual se presenta una amplificación del movimiento en la superficie del suelo (Sarría, 1990).

1.2 ingeniería sísmica

La ingeniería sísmica está conformada por la sismología en sus componentes regionales o locales, donde se incluye el análisis de la respuesta de los elementos que reaccionan ante los eventos sísmicos; además se interesa de las propiedades dinámicas de dichos elementos interrelacionando su comportamiento lineal y no lineal (Sarría, 1990). Los elementos que reaccionan a los sismos en nuestro caso de estudio



son: el suelo, las estructuras y elementos no estructurales (edificaciones e infraestructura).

La ingeniería sísmica se estructura adecuadamente a finales de la década de los años sesenta. Su área de aplicación es amplia. Sin embargo, en este documento utilizaremos sus conceptos para aplicar al área de la Ingeniería Civil.

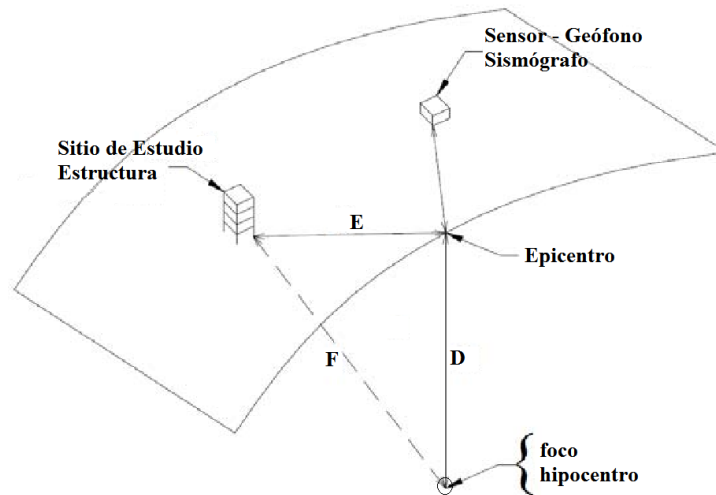
1.2.1 Características de los sismos

Las características de las ondas sísmicas y su propagación han podido estudiarse gracias a instrumentos que registran las vibraciones sísmicas. Por medio de estos instrumentos, colocados a diferentes distancias (mínimo tres sensores de movimiento) es posible ubicar la procedencia del sismo. Si estos instrumentos se calibran localmente, permiten calcular la magnitud del sismo. En los siguientes párrafos encontramos conceptos sobre los puntos relativos de ubicación de la procedencia de un sismo y luego los conceptos sobre la magnitud e intensidad de un sismo.

El concepto de fuente **foco o hipocentro**, consiste en la ubicación en latitud, longitud y profundidad donde se originó el sismo. También se denomina como un punto en el interior de la corteza terrestre donde se cree que se originan las ondas sísmicas; es una idealización, ya que, en realidad, el desplazamiento relativo de la falla se produce a lo largo de una línea extensa. De ahí que se considera como el instante de tiempo en que se generan las ondas y la propagación de éstas, hasta alcanzar la superficie, produciendo movimientos oscilatorios irregulares en el suelo (Sarria, 1990).

El **epicentro** es la ubicación en latitud y longitud del sismo, no considera la profundidad (punto a flor de tierra o en la superficie del suelo); punto en la superficie en la vertical con el foco. Si se supone una población cercana al epicentro del sismo, a la distancia (horizontal) de la población o sitio al epicentro, se le llama distancia epicentral y si se considera la distancia del sitio al foco, se denomina distancia focal; también es de interés la profundidad focal que se define como la distancia del foco al epicentro; estos conceptos se ilustran en la figura siguiente.

Figura 6. Esquema relativo de foco, epicentro, censor y sitio de estudio



Fuente: Reproducida por la R.S.A.

Según la profundidad focal (valores no fijos), los sismos se clasifican en:

- Superficiales: menores a 20 kilómetros; que causan mayor daño
- Someros: profundidad entre 20 y 70 kilómetros
- Intermedios: entre 70 y 300 kilómetros
- Profundos: mayor a 300 kilómetros

Para calcular las coordenadas del foco: latitud, longitud y profundidad, se utilizan los registros del temblor en varias estaciones. En cada registro se miden los tiempos de arribo de las ondas; éstas se reconocen por el cambio brusco en la amplitud y frecuencia del registro respecto del ruido ambiente. En el registro de un sismo local, se distinguen dos fases o arribos de ondas, conocidas como: fase P (primaria) y fase S (secundaria) (Bozzo-Barbat, 2000).

Comúnmente existen dos sistemas para cuantificar el tamaño y la fuerza de un sismo, los cuales son la magnitud y la intensidad. A pesar de ser parámetros ampliamente utilizados y conocidos, desde el punto de vista de la ingeniería sísmica, ninguno de ellos es completamente satisfactorio.

Magnitud. Es la que se relaciona con la cantidad de energía liberada durante el movimiento. La energía se calcula indirectamente a partir de la amplitud máxima observada en el sismograma; (escala de Richter, una de las formas cuantitativa de medir el tamaño del sismo, sin importar el lugar en que se mida). Richter, en 1935, fue el primero en definir la magnitud de un sismo, como:

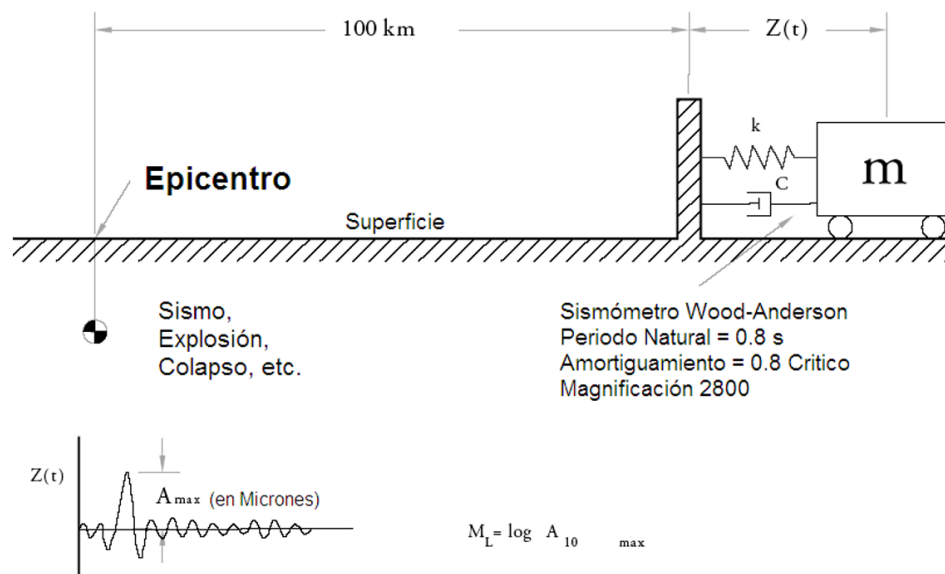
$$ML = \log A - \log A_0$$

Dónde:

ML: magnitud local (la cual Richter definió para el sur de California).

- A: es el máximo trazo de amplitud registrado en micrones de medida estandarizada (Wood-Anderson) para períodos cortos de torsión del sismómetro (instrumento con un período natural de 0,8 segundos, valor crítico de amortiguamiento de 0,8, con magnificación de 2 800), ubicado a 100 kilómetros del epicentro.
- A₀: valor estandarizado como una función de la distancia, de instrumentos localizados a una distancia comprendida entre 100 y 600 kilómetros.

Figura 7. Mecanismo de Wood-Anderson, para calcular la energía liberada de un movimiento



Fuente: LEE, et al. Ingeniería de terremotos. P. 33.

Debido a las limitaciones del sismómetro de torsión Wood-Anderson usado para desarrollar la escala, la magnitud original ML no puede ser calculada para temblores mayores a 6,8. Varios investigadores propusieron extensiones a la escala de magnitud local, siendo las más populares la magnitud de ondas superficiales Ms y la magnitud de las ondas de cuerpo Mb.

Otro problema con la magnitud local ML o de Richter radica en que es difícil relacionarla con las características físicas del origen del terremoto. Además, existe un



efecto de saturación para magnitudes cercanas a 8,3-8,5, debido a la ley de Gutenberg-Richter del escalamiento del espectro sísmico que provoca que los métodos tradicionales de magnitudes (ML, Mb, Ms) produzcan estimaciones de magnitudes similares para temblores que claramente son de intensidad diferente. A inicios del siglo XXI, la mayoría de los sismólogos consideraron obsoletas las escalas de magnitudes tradicionales, siendo éstas reemplazadas por una medida físicamente más significativa llamada momento sísmico, el cual es más adecuado para relacionar los parámetros físicos, como la dimensión de la ruptura sísmica y la energía liberada por el evento sísmico (Bozzo-Barbat, 2000).

Los sismólogos Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori, investigadores del Instituto de Tecnología de California, propusieron en 1979 la escala sismológica de magnitud de momento (Mw), la cual provee una forma de expresar momentos sísmicos que pueden ser relacionados aproximadamente a las medidas tradicionales de magnitudes sísmicas.²

Debido al hecho que ML está definido como un valor para California (para eventos registrados por instrumentos de estaciones de control, dentro de un radio de 600 kilómetros), el valor de Ms es similar a ML, observación de la superficie de onda para un período de 20 segundos.

Como consecuencia, los valores de otras magnitudes deben ser definidas, dentro de ellas; las más comunes son:

- Ms: Magnitud de la onda superficial (surface wave magnitude)
- Mb: Magnitud de la onda interna, período corto (body wave magnitude)
- Mw: Magnitud del momento (moment magnitude)
- Md: Magnitud de duración.

Para describir mejor el tema de las magnitudes, se presentan a continuación los efectos que causan los sismos de diversas magnitudes cerca del epicentro. Los valores son estimados y deben tomarse con extrema precaución, ya que la intensidad y los efectos en la tierra no sólo dependerán de la magnitud del sismo, sino también de

² Hanks TC, Kanamori H (1979). «A moment magnitude scale». Journal of Geophysical Research (en inglés) 84 (B5): 2348–2350. Consultado el 28 de enero de 2016.



la distancia del epicentro, la profundidad, el foco del epicentro y las condiciones geológicas (algunos terrenos pueden amplificar las señales sísmicas).³

Tabla 1. Tabla de Magnitudes: Efectos típicos de los sismos de diversas magnitudes

Magnitud (M_w =Mayores de 6,9 M_L =De 2,0 a 6,9)	Descripción	Efectos de un sismo	Frecuencia de ocurrencia
Menos de 2,0 (ML)	Micro	Los microsismos no son perceptibles.	Alrededor de 8000 por día
2,0-2,9 (ML)	Menor	Generalmente no son perceptibles.	Alrededor de 1000 por día
3,0-3,9 (ML)		Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños.	49 000 por año.
4,0-4,9 (ML)	Ligero	Movimiento de objetos en las habitaciones que genera ruido. Sismo significativo pero con daño poco probable.	6 200 por año.
5,0-5,9 (ML)	Moderado	Puede causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas. En edificaciones bien diseñadas los daños son leves.	800 por año.
6,0-6,9 (ML)	Fuerte	Pueden llegar a destruir áreas pobladas, en hasta unos 160 kilómetros a la redonda.	120 por año.
7,0-7,9 (Mw)	Mayor	Puede causar serios daños en extensas zonas.	18 por año.
8,0-8,9 (Mw)	Gran	Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros.	1-3 por año.
9,0-9,9 (Mw)		Devastadores en zonas de varios miles de kilómetros.	1-2 en 20 años.
10,0+ (Mw)	Épico	Nunca registrado; sin embargo se puede conocer el equivalente de energía sísmica.	En la historia de la humanidad (y desde que se tienen registros históricos de los sismos) nunca ha sucedido un terremoto de esta magnitud.

Fuente: Tabla procesada en la RSA con información de la USGS

Intensidad. Es una medida subjetiva de los efectos de un sismo; se refiere al grado de destrucción causado por un sismo en un sitio determinado, que generalmente es mayor en el área cercana al epicentro.

³ Servicio Geológico de los Estados Unidos (18 de febrero de 2009). «FAQ - Measuring Earthquakes» (en inglés). U. S. Geological Survey. Consultado el 28 de enero de 2016.



El Vulcanólogo Giuseppe Mercalli en 1884 y 1906, revisa la escala formulada por Rossi-Forel que era la primera escala de medida de la intensidad de eventos sísmicos. En 1902, el físico italiano Adolfo Cancani amplió la escala de Mercalli de diez a doce grados. Más tarde la escala fue completamente reformulada por el geofísico alemán August Heinrich Sieberg y se conoció como la escala de Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS). La escala de Mercalli-Cancani-Sieberg fue posteriormente modificada por Harry O. Wood y Frank Neumann en 1931 como la escala de Mercalli-Wood-Neumann (MWN). Finalmente fue mejorada por Charles Richter, también conocido como el autor de otra escala sismológica, la escala de Richter.⁴

En la actualidad, la escala se conoce como la escala de Mercalli modificada (MM), que tiene doce grados identificados por los números romanos del I al XII. En la tabla siguiente se da una descripción detallada de esta escala de intensidad.

⁴ Servicio Geológico de los Estados Unidos (1989-288-913). « The Modified Mercalli Intensity Scale» (en inglés). U. S. Geological Survey. Consultado el 28 de enero de 2016



Tabla 2. Intensidades. Escala de Mercalli Modificada (MM)

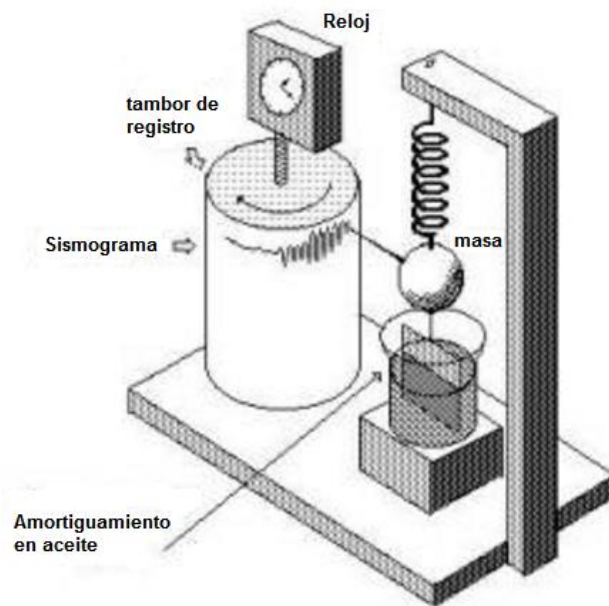
Grado	Descripción.
I - <i>Muy débil.</i>	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables.
II - <i>Débil.</i>	Perceptible sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar.
III - <i>Leve.</i>	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Muchos no lo perciben como un terremoto. Los automóviles detenidos se mueven ligeramente. Sensación semejante al paso de un camión pequeño.
IV - <i>Moderado.</i>	Perceptible por la mayoría de personas dentro de los edificios, por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbación en cerámica, puertas y ventanas. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación semejante al paso de un camión grande.
V - <i>Poco fuerte.</i>	Sacudida sentida casi por todo el país o zona y algunas piezas de vajilla o cristales de ventanas se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen los relojes de péndulo.
VI - <i>Fuerte.</i>	Sacudida sentida por todo el país o zona. Algunos muebles pesados cambian de sitio y provoca daños leves, en especial en viviendas de material ligero.
VII - <i>Muy fuerte.</i>	Ponerse de pie es difícil. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Mampostería dañada. Perceptible por personas en vehículos en movimiento.
VIII - <i>Destruutivo.</i>	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles derrumbes. Daño severo en estructuras pobremente Construidas con Mampostería seriamente dañada o destruida. Muebles completamente sacados de lugar.
IX - <i>Muy destructivo.</i>	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. Grandes daños en importantes edificios, con derrumbes parciales. Edificios desplazados fuera de las bases.
X - <i>Desastroso.</i>	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las estructuras de mampostería y el marco destruido con sus bases. Vías ferroviarias dobladas.
XI - <i>Muy desastroso.</i>	Pocas estructuras de mampostería, si las hubiera, permanecen en pie. Puentes destruidos. Vías ferroviarias curvadas en gran medida.
XII - <i>Catastrófico.</i>	Destrucción total con pocos supervivientes. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionados. Imposibilidad de mantenerse en pie.

Fuente: Tabla procesada en la RSA con información de la USGS

1.2.2 Acelerogramas y aceleraciones máximas

Cada sismo produce una variedad de movimientos que pueden ser registrados en archivos digitales por medio de sensores electrónicos. En la figura siguiente se muestra un esquema de cómo obtener un gráfico que represente el movimiento sísmico, nombrando a la gráfica obtenida como sismograma. Por lo tanto, al equipo que registra los eventos sísmicos comúnmente se le denomina sismógrafo.

Figura 8. Esquema de sensor de movimiento



Fuente: Reproducido en la RSA

De los sismógrafos se generó la idea de obtener estas gráficas en función de otras unidades, con objeto de poder relacionar la capacidad de incitación del sismo a los objetos que se encuentran en la superficie. La unidad más común es la aceleración, que, dibujando los cambios de aceleración de un evento sísmico en un punto de la superficie, en el transcurso del tiempo permiten obtener lo que llamamos un Acelerograma.

En resumen, un Acelerograma es una representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un evento sísmico.

El conocimiento de las fuerzas de los terremotos, el análisis de sus efectos sobre las estructuras, el desarrollo de normas de construcción y los métodos para determinar el riesgo sísmico sobre las construcciones son algunas de las principales motivaciones para el estudio de los acelerogramas.



Los valores de la aceleración se obtienen mediante instrumentos llamados acelerógrafos, que registran la aceleración del suelo en las tres direcciones ortogonales del espacio: dos horizontales y una vertical. Debido a que la variación de la aceleración es muy irregular en el tiempo, es necesario que la toma de datos se realice en intervalos muy pequeños de tiempo, utilizándose generalmente valores de 0.005 o 0.02 s.

1.2.3 Características de equipos y acelerogramas.

Los acelerogramas se caracterizan por ser altamente irregulares y oscilatorios, con pequeñas amplitudes iniciales que crecen rápidamente hasta alcanzar los valores máximos y decrecer igualmente rápido hasta que se detiene el movimiento.

Para lograr comprender el tipo de instrumentación y calibración para registro en campo de movimientos del suelo, se debe entender las siguientes características de los acelerogramas:

- a) **La intensidad de las vibraciones.** Se puede caracterizar la vibración en un punto del suelo por la historia temporal del desplazamiento $u(t)$, de la velocidad $\dot{u}(t)$ o de la aceleración $\ddot{u}(t)$. Cuando queremos registrar movimientos fuertes del suelo, hay que tener en cuenta que una vibración de aceleración 0.2 g a una frecuencia de 2 Hz corresponde a un desplazamiento máximo de 1.2 cm y que, por ejemplo, una vibración de aceleración 0.5 g a 1 Hz produciría un desplazamiento de 12 cm; en cambio, en altas frecuencias, estos valores corresponderían a desplazamientos muy pequeños. Por tanto, un registrador de desplazamientos necesitará disponer de un rango dinámico muy grande para no llegar a la saturación.
- b) **El rango de frecuencias.** Nos interesa que el instrumento que vamos a usar en campo cercano, sea capaz de registrar un amplio rango de frecuencias, tanto para estudiar en condiciones el proceso de ruptura, como para cubrir toda la gama de periodos de vibración que afectan a las estructuras.
- c) **Registro por disparo.** Debido a que estos instrumentos de campo cercano registrarán fundamentalmente los movimientos fuertes del suelo que se producen en un pequeño radio de acción, el número de registros que se supone que va a obtener este instrumento será muy pequeño con respecto al número de registros que proporciona un sismógrafo para registro de



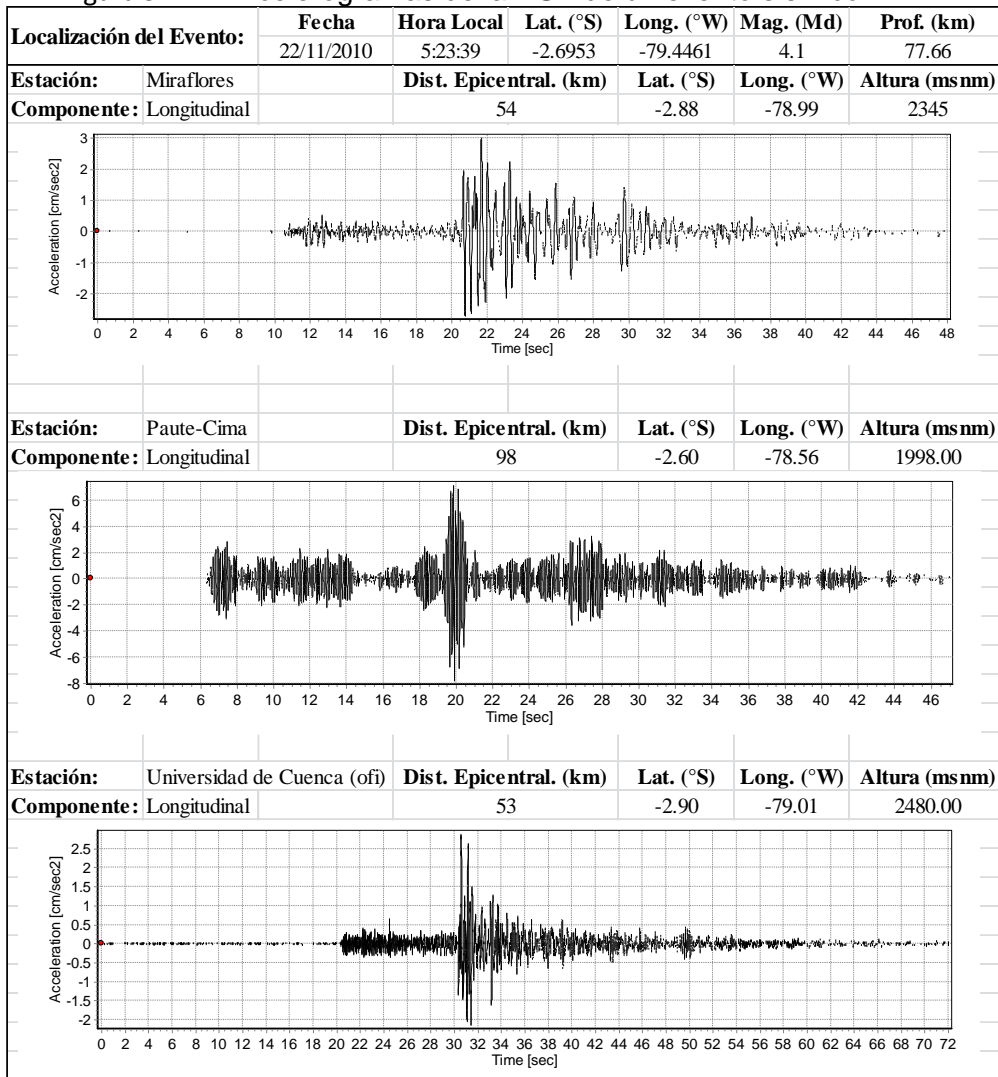
velocidades. Puesto que el periodo de retomo de los movimientos fuertes es mucho mayor que el caso de movimientos débiles, no va a ser práctico que el instrumento haga un registro continuo⁵.

El instrumento que se utiliza para registrar los movimientos fuertes del suelo, en el denominado campo cercano, y que satisface las características anteriores, es el acelerógrafo. Este equipo, nos va a permitir obtener la aceleración del suelo durante un terremoto, en función del tiempo. Es un instrumento que posee además una baja amplificación, para evitar la saturación. Como el movimiento sísmico en la proximidad de la fuente tiene un elevado contenido en altas frecuencias, el periodo natural del acelerógrafo puede estar comprendido entre, prácticamente 0 s y 0.1 s. Además, el amortiguamiento oscila entre el 50 y el 100% del amortiguamiento crítico, para conseguir que después de cada oscilación el acelerómetro quede preparado para recibir nuevos movimientos. Por tanto, el sensor con estas características tendrá una curva plana de sensibilidad en aceleración para el citado rango de frecuencias.

En las siguientes figuras se muestran tres acelerogramas obtenidos en tres sitios diferentes durante un mismo sismo. Se aprecia a simple vista, que las diferencias entre cada acelerógrafo son notables, lo que pone de manifiesto la importancia que tiene la configuración del equipo acelerográfico, el punto de medición de las aceleraciones, y, por tanto, el tipo de terreno existente entre el epicentro y el punto de observación.

⁵ E. Carreño, B. Bravo, A. Suárez y J.M. Tordesillas, 1999: Registro y Tratamiento. Física de la Tierra.

Figura 9. Acelerogramas de la RSA de un evento sísmico.



Fuente: Universidad de Cuenca – Red Sísmica del Austro

Las aceleraciones máximas. - como se puede ver en los acelerogramas de la figura anterior, todos tienen un punto máximo positivo o negativo. La Ingeniería Sísmica se interesa en conocer el valor máximo absoluto con el objetivo de saber qué fuerza de movimiento puede producir un sismo sobre una masa que se encuentra en la superficie. Este efecto es de suma importancia, pues si consideramos la segunda ley de Newton, donde la fuerza es directamente proporcional al producto de la masa y aceleración; cuando el sismo produzca la mayor aceleración sobre una masa, este tendrá una gran fuerza de movimiento (concepto básico del diseño sismo-resistente y de la Dinámica Estructural). Los valores máximos de acelerogramas de diferentes sistemas se traducen en espectros. Concepto que se describirá en el capítulo de Dinámica Estructural.

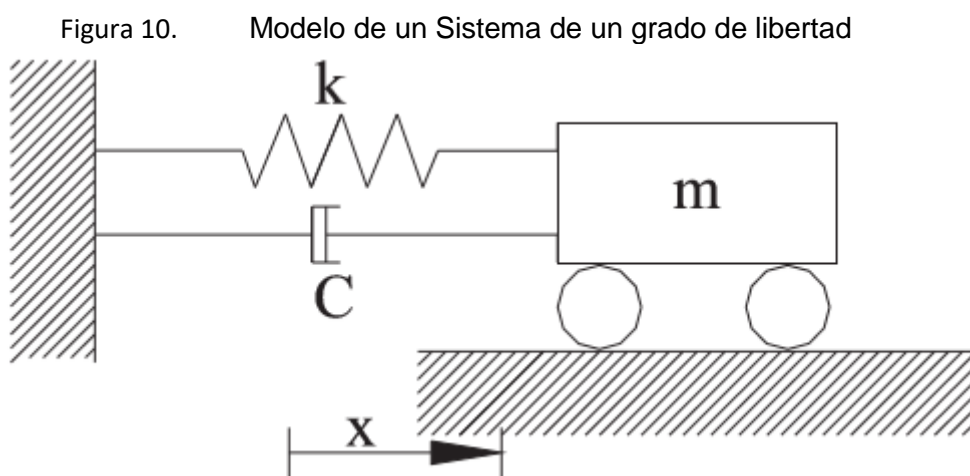
Ahora podemos entender la importancia del estudio de los acelerogramas, y sus valores máximos.

CAPÍTULO 2

2. DINÁMICA ESTRUCTURAL

2.1 Sistemas de un grado de libertad (1gdl)

La gráfica a continuación representa el modelo de un sistema de un grado de libertad. Este modelo consiste en una masa (m) que reposa sobre una superficie que entra en movimiento(X), generando una respuesta de movimiento(u) a la masa(m), este movimiento(u) depende del tipo de amortiguamiento (C) y de la rigidez(k) del resorte.



Fuente: reproducido por el autor

2.2 Ecuación de movimiento

Traduciendo a una ecuación el sistema de 1gdl expuesto anteriormente se tiene que:

$$m \ddot{u} + C \dot{u} + k u = - m \ddot{X} \quad (2.1)$$

dónde:

m es la masa del sistema

C es el amortiguamiento del sistema

k es la rigidez o constante elástica del sistema

u es la respuesta en el tiempo de desplazamiento

\dot{u} es la respuesta en el tiempo de velocidad

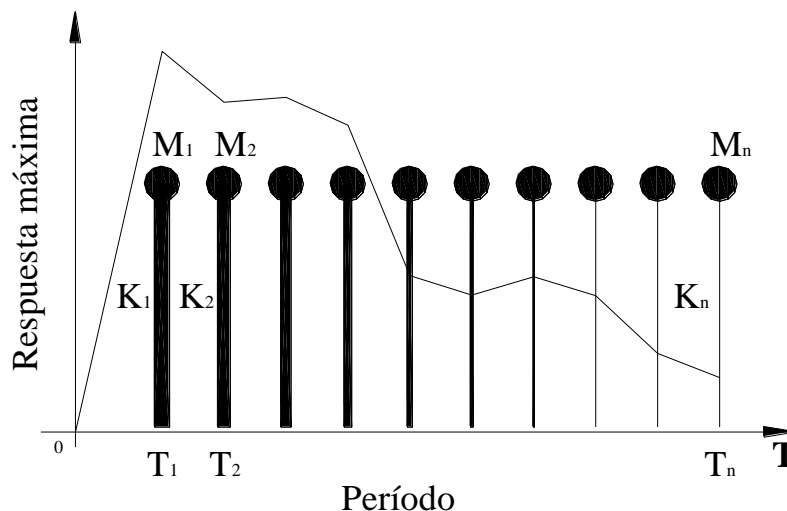
\ddot{u} es la respuesta en el tiempo de aceleración

\ddot{X} es la aceleración del suelo

2.3 Espectros de respuesta

En la Ingeniería civil, el espectro de respuesta se define como la medida de la reacción de una estructura expuesta a una vibración del suelo. Se denomina respuesta ya que lo que mide es cómo responde la estructura a las acciones que se le inducen desde el exterior. Los espectros de respuesta se representan gráficamente como una familia de curvas, tal que cada una de ellas representa la máxima respuesta (en desplazamiento, velocidad o aceleración), que pueden alcanzar distintos osciladores con distintos periodos y amortiguamiento constante (ver figura 11), cuando son sometidos a una acción dinámica. Por lo tanto, estos espectros reciben el nombre de espectros sísmicos de respuesta, si dicha acción dinámica se refiere a un sismo (Barbat, Oller, 1998).

Figura 11. Representación esquemática de un espectro de respuesta



Fuente: Re-producido por el autor del esquema presentado por Barbat

Según lo que se quiera comparar, se pueden obtener espectros de respuesta de deformación, de velocidad y de aceleración.

2.3.1 Cálculo de los espectros de respuesta

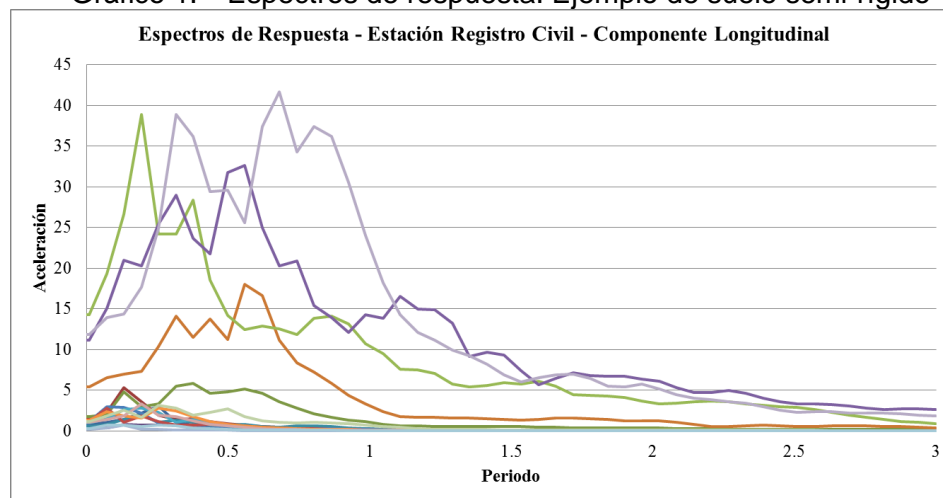
El cálculo de espectros de respuesta depende del tipo de espectro que se desee obtener. En general, los espectros de respuesta se calculan por medio de la integración de la ecuación de movimiento en el tiempo, de una serie de sistemas de un solo grado de libertad, de las cuales se obtiene las cantidades de respuesta máxima en desplazamiento, velocidad o aceleración. Su representación se lleva a cabo mediante gráficas de periodo vs. aceleración, velocidad o desplazamiento.

2.3.2 Tendencias de los espectros de respuesta

La forma de los espectros de respuesta depende del tipo de suelo y de la distancia que hay entre el foco del evento sísmico y la estación que registró el evento. Tome en cuenta que en los eventos que registra una sola estación, cada evento puede tener diferente magnitud y provenir de varios focos sísmicos a distintas distancias epicentrales, por lo que podríamos pensar que la forma del espectro de cada evento deberá tener diferente forma y magnitud. Sin embargo, los espectros de todos los registros tomados en un mismo lugar, tienden a tener una misma forma y lo que varía son los picos según la aceleración máxima del evento.

En el Gráfico 1 se muestran todos los espectros obtenidos en una estación, de una componente. Estas líneas nos muestran que cada sismo registrado tiene diferente magnitud, pero es visible que existe una aparente forma entre cada evento. Esto se puede ver con más detalle si escaláramos a todos los eventos como si todos fueran de una misma magnitud.

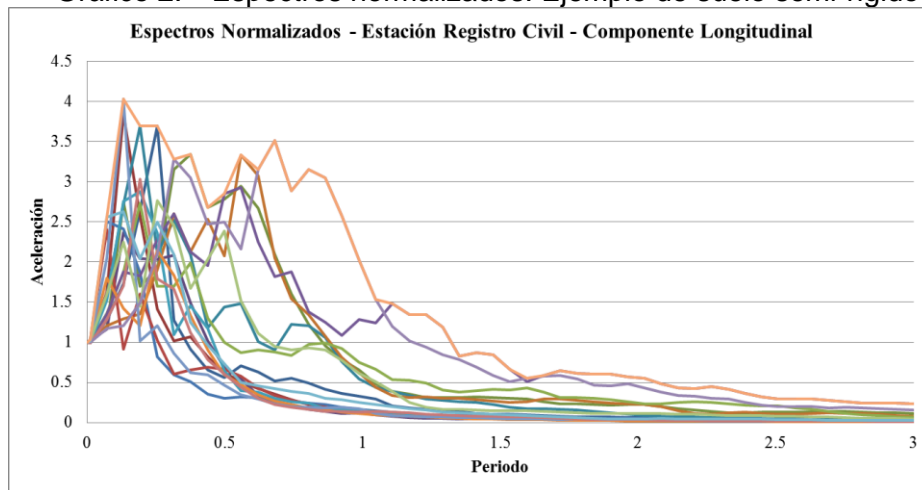
Gráfico 1. Espectros de respuesta. Ejemplo de suelo semi-rígido



Fuente: RSA-2016

En las siguientes gráficas se visualizan los mismos espectros anteriores, pero normalizados. La normalización consiste en escalar todos los espectros a una aceleración máxima para el periodo igual a cero. En este caso normalizaremos para una aceleración de valor igual a 1 en el periodo igual a cero. Aquí es más visible cómo la mayoría de eventos mantienen la forma del espectro, especialmente para periodos bajos. El suelo de esta estación es de tipo "C" (suelo semi-rígido).

Gráfico 2. Espectros normalizados. Ejemplo de suelo semi-rígido



Fuente: RSA-2016

El tipo de sismo, según el lugar de donde proviene, se clasifica en función de la forma de onda del sensor de movimiento de un sismógrafo; cuando las frecuencias de movimiento son altas son eventos locales y cuando las frecuencias son bajas son eventos lejanos. Para conocer si son superficiales, el tiempo entre la onda “P” y “S” debe ser menor a un minuto, caso contrario se categorizan como sismos profundos. Estas diferencias influyen poco en la forma de los espectros, siendo más notables cuando existe diferencia de tipo de suelo. Tome en cuenta que algunos suelos amplifican el movimiento, otros lo atenúan y posiblemente otros transmiten el mismo movimiento. Para visualizar este criterio, se presentan a continuación los espectros obtenidos de eventos registrados en roca y en suelo blando:

Gráfico 3. Espectros normalizados. Ejemplo de suelo rígido (roca)

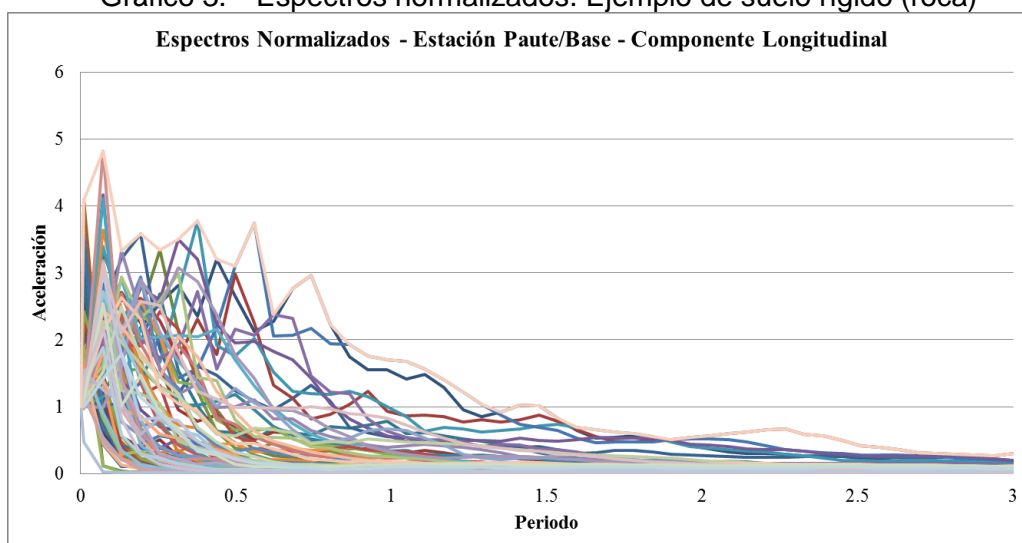
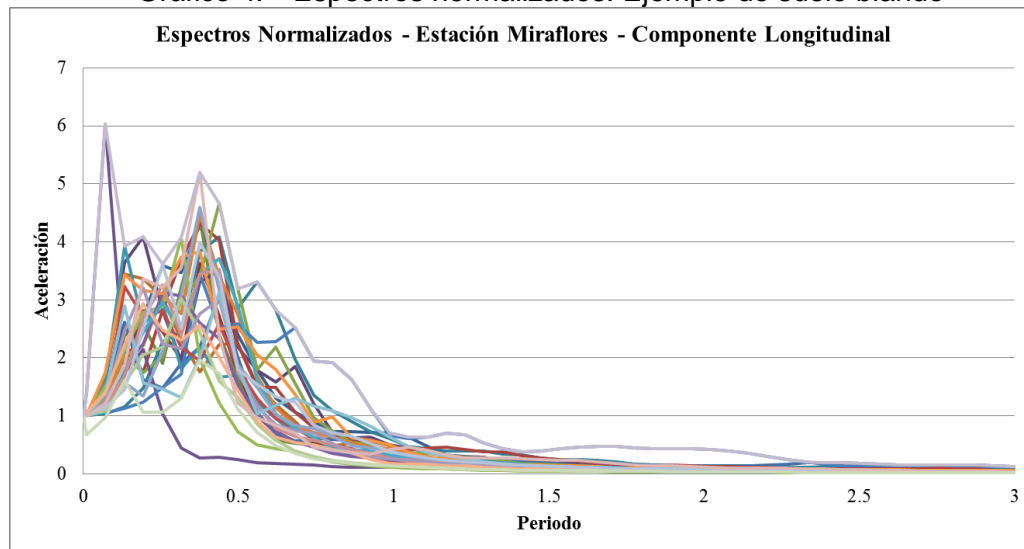


Gráfico 4. Espectros normalizados. Ejemplo de suelo blando



Fuente: RSA-2016

Analizando las gráficas, se puede decir que: (1) para suelos rígidos los espectros tienen aceleraciones altas en periodos bajos de 0 a 0.6sg.; (2) en suelos semirrígidos los espectros tienen aceleraciones altas en períodos de 0.2 a 0.7sg., y (3) en suelos blandos, las aceleraciones máximas se presentan en periodos entre 0.3 a 1sg.

2.4 Espectros de diseño

Los espectros de respuesta pueden ser elásticos o inelásticos. Generalmente, el espectro elástico es el más utilizado para el diseño. Sin embargo, los espectros inelásticos, también se utilizan para el diseño, con el fin de optimizar la estructura, pero en general, los espectros inelásticos son más útiles para la evaluación dinámica de estructuras existentes.

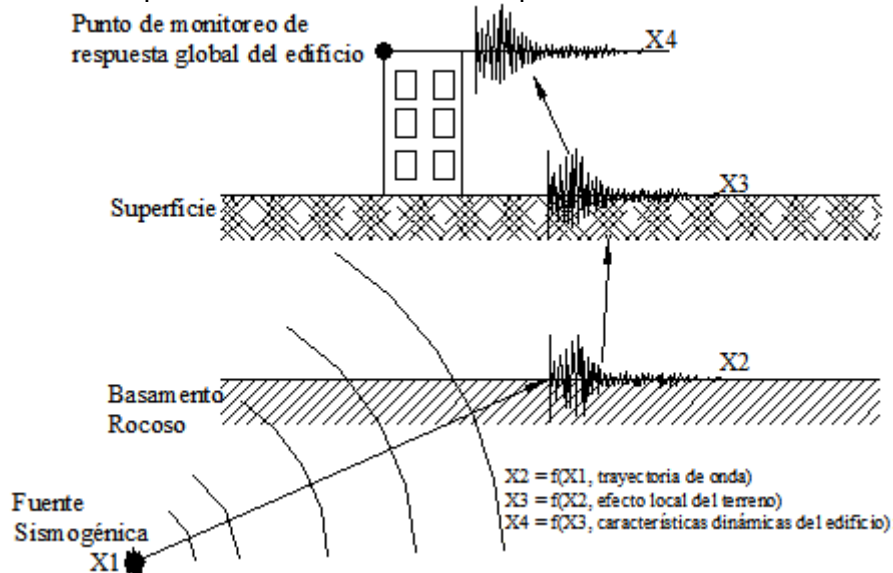
2.4.1 Espectros elásticos

Los espectros elásticos se refieren a los que son obtenidos por el análisis de varios sistemas de un grado de libertad que mantienen un comportamiento lineal.

El espectro de diseño se refiere al que considera los efectos de sitio (efecto local del terreno) y, para algunas normas, al que considera las características dinámicas de la estructura. La acción dinámica de un sismo no tiene el mismo comportamiento en otros lugares donde llegue la onda sísmica. De la figura esquemática que se presenta a continuación: X1, X2, X3 y X4 que es la respuesta sísmica, no resulta igual, pues entre cada capa la onda se transforma. Por lo tanto, el espectro de diseño será el que

resulte de X3 o el de X4, según el tipo de análisis que se quiera hacer a la estructura (Bozzo-Barbat, 2000).

Figura 12. Esquema de transición de la respuesta de una acción sísmica



Fuente: Gráfico editado en la RSA

Los valores correspondientes a las respuestas máximas de desplazamientos, velocidades y aceleraciones se resumen en la forma de espectro de respuesta, en el cual se dibujan las respuestas máximas para cada frecuencia y amortiguamiento dado. De acuerdo a esto se pueden construir tres tipos de espectros: el espectro de desplazamiento relativo, el espectro de velocidad relativa y el espectro de aceleración absoluta. Sin embargo, definiendo la pseudovelocidad y la pseudoaceleración, los tres espectros se pueden presentar convenientemente:

$$S_d(\omega, \xi) = |u_{\max}|. \quad (3.1)$$

$$S_v(\omega, \xi) = \omega S_d. \quad (3.2)$$

$$S_a(\omega, \xi) = \omega S_v = \omega^2 S_d. \quad (3.3)$$

donde S_d es el desplazamiento espectral, S_v la pseudovelocidad y S_a la pseudoaceleración (García E, 1995).

Se propone un espectro de respuesta del 5% del crítico para el diseño, siendo lo más normal, pero en verdad existe la certeza de que ese es el amortiguamiento de la estructura en combinación con la estratigrafía del lugar, quizá se idealice con un amortiguamiento crítico de 0%, 1%, 2%, 3%, ..., 10% y entonces se necesita el



espectro de respuesta para cada uno de estos amortiguamientos, considerando que sólo se está tomando en cuenta un sismo.

2.4.2 Espectros inelásticos

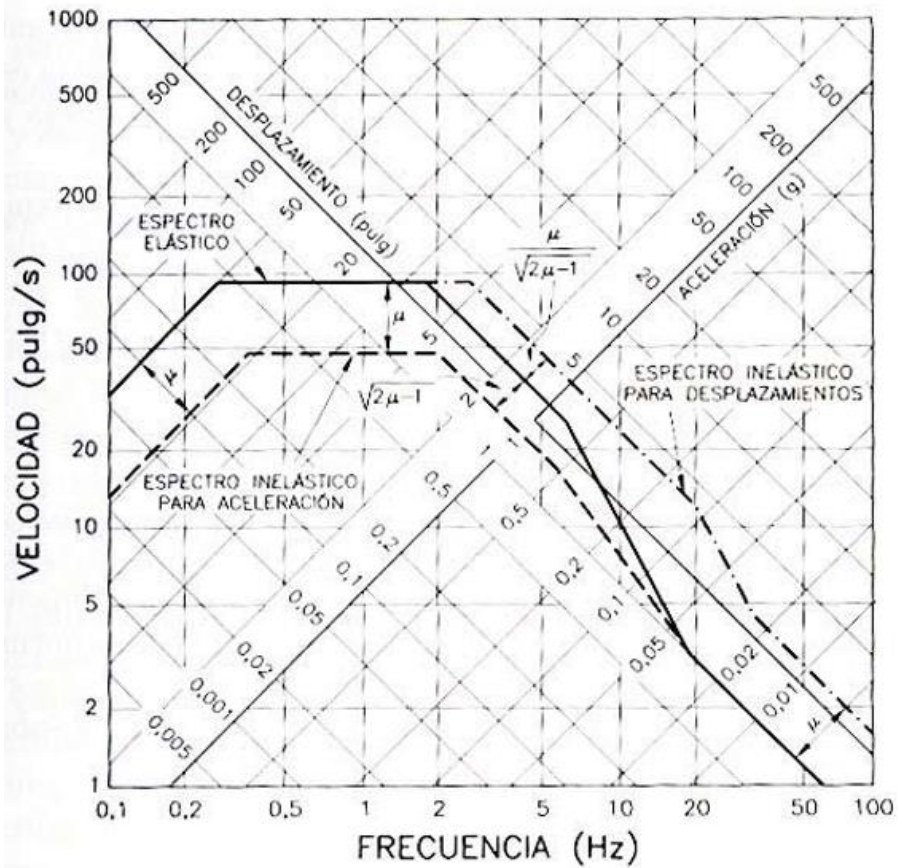
Los espectros inelásticos se refieren a los que son obtenidos por el análisis de varios sistemas de un grado de libertad con un comportamiento no lineal.

Newmark (1970-1971), analizando varios registros sísmicos de todo el mundo, llegó a las siguientes conclusiones para resortes inelásticos elastoplásticos:

- 1.- Para sistemas de periodo largo (frecuencias bajas) el desplazamiento total de un sistema inelástico es igual al de un sistema elástico.
- 2.- En el rango de periodos intermedios la energía total absorbida por los resortes es la misma en ambos sistemas elástico e inelástico.
- 3.- Para sistemas de periodo corto (frecuencias altas) la fuerza en el resorte de los sistemas inelástico y elástico es la misma.

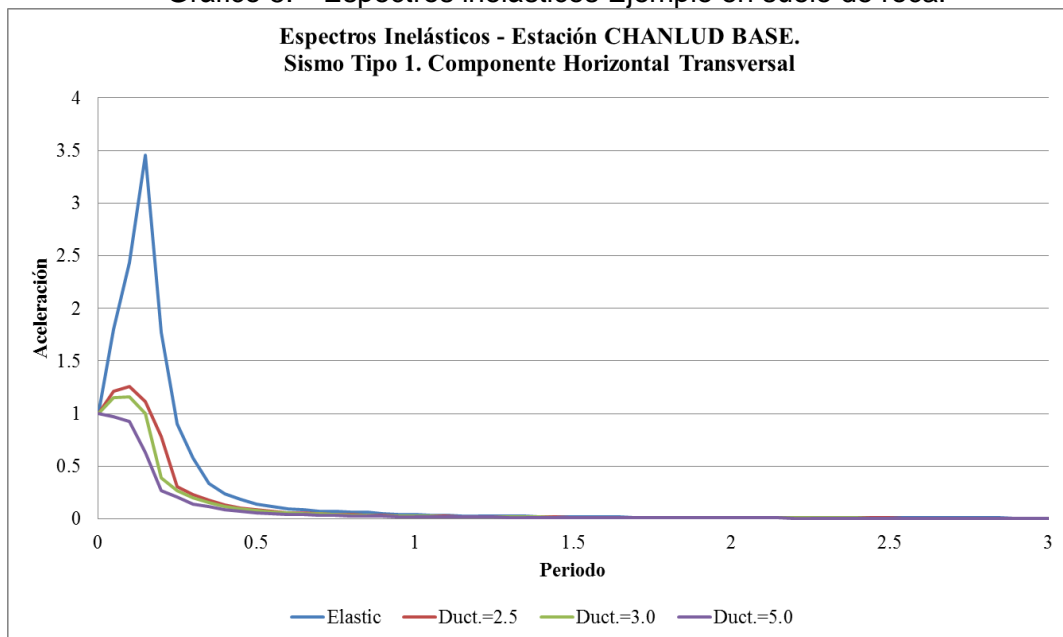
Usando estas generalizaciones Newmark especifica las relaciones para encontrar las ordenadas del espectro de respuesta inelástico a partir del espectro elástico, cuyo esquema se muestra en la (Figura 4.5). En las regiones de amplificación de desplazamientos y velocidades (frecuencias bajas), el espectro de desplazamiento inelástico es idéntico al del espectro elástico, y dividiendo el espectro elástico por el factor de ductilidad se obtiene las aceleraciones máximas inelásticas. En la región de amplificación de aceleraciones (frecuencias intermedias), el espectro inelástico es determinado de tal manera que el sistema elastoplástico puede tener la misma energía de absorción que el sistema elástico, esto es dividiendo el espectro elástico por el factor $\sqrt{2\mu - 1}$. En la región de frecuencias muy altas (período corto) la aceleración máxima del modelo elastoplástico es igual a la del terreno. La región de transición se completa dibujando una recta entre la aceleración amplificada y la aceleración del terreno.

Figura 13. Espectro inelástico (trilogarítmico) de Newmark y Hall



Fuente: Sarria, 1990-1995: Ingeniería Sísmica. 2da Edición

Gráfico 5. Espectros inelásticos Ejemplo en suelo de roca.



Fuente: RSA

CAPÍTULO 3

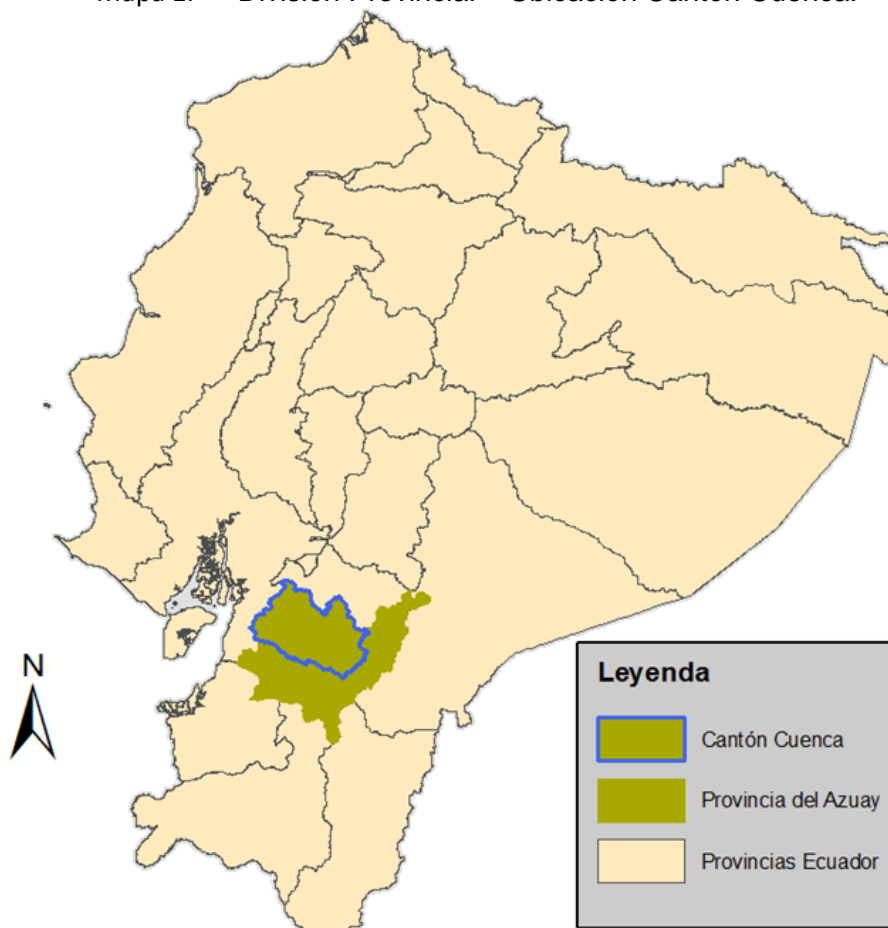
3. RECOPIACIÓN Y PROCESO DE INFORMACIÓN

3.1 Información básica

3.1.1 Información de la zona de estudio

La Ciudad de Cuenca se localiza dentro del Cantón Cuenca, ubicada geográficamente entre las coordenadas 2°39' a 3°00' de latitud sur y 78°54' a 79°26' de longitud oeste, con una altura sobre el nivel del mar que varía de 100 a 4560 m., la zona urbana se encuentra a una altitud de 2560 msnm aproximadamente. Limita al norte con la Provincia del Cañar, al sur con los Cantones Camilo Ponce Enríquez, San Fernando, Santa Isabel y Girón, al oeste con las Provincias del Guayas y hacia el este con los Cantones Paute, Gualaceo y Sígsig. (Ver Mapa N° 1).

Mapa 1. División Provincial – Ubicación Cantón Cuenca.

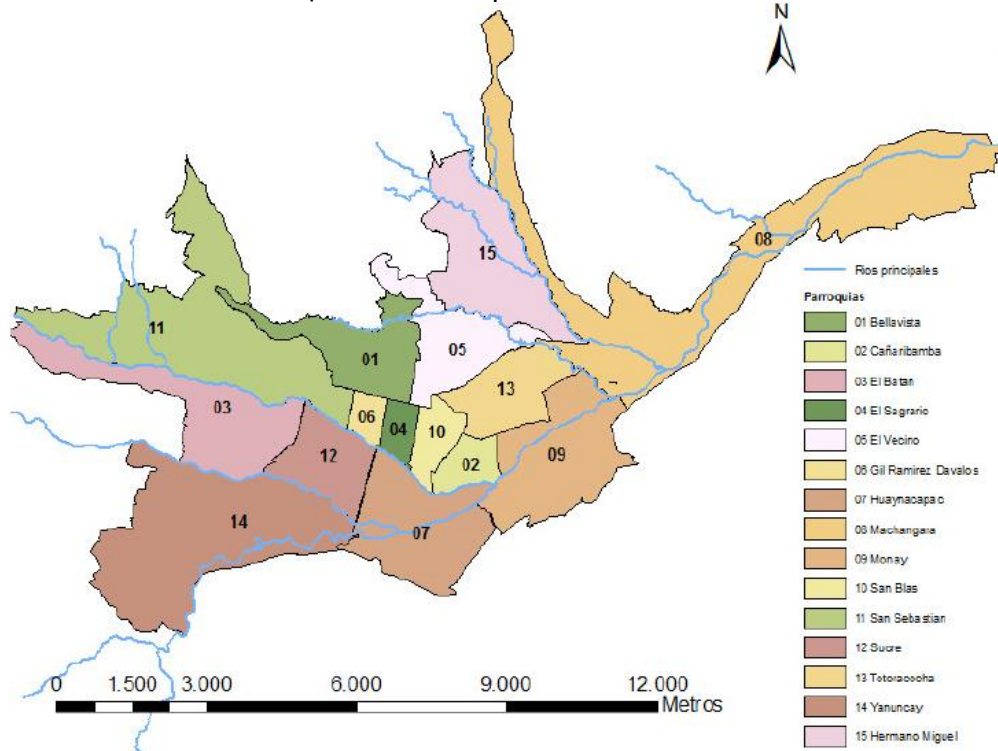


Fuente: IGM-INEC

El Cantón Cuenca está dividido en quince parroquias urbanas, y 21 parroquias rurales (ver Mapa N°2 y Mapa N°3). Al conjunto de las quince parroquias urbanas se les

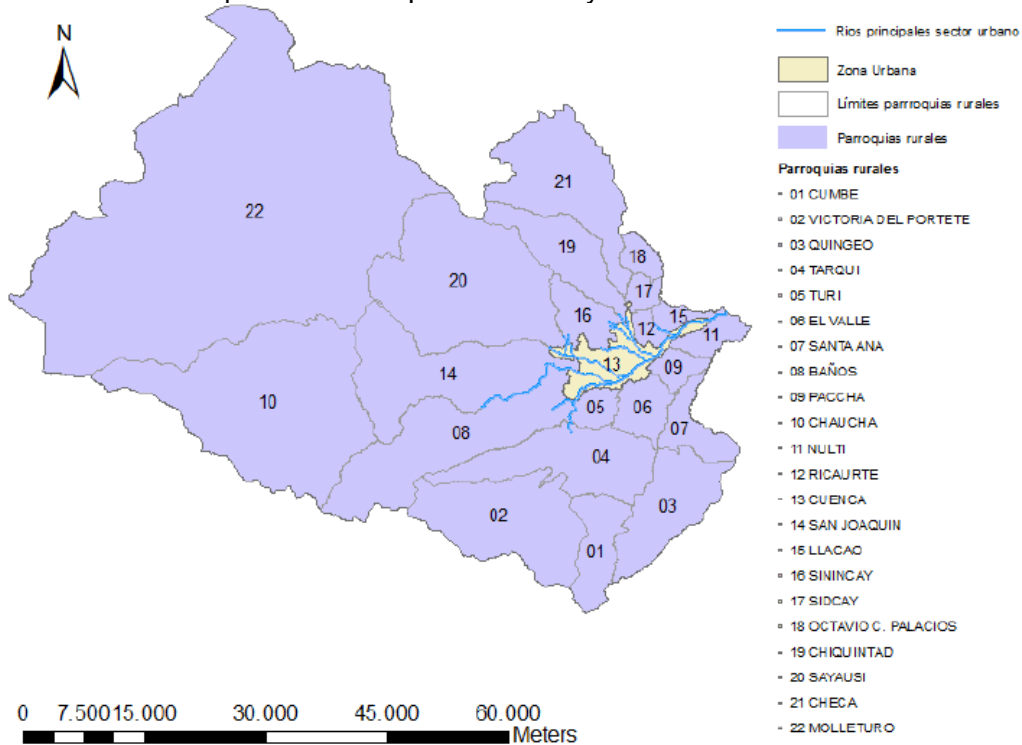
denomina la Ciudad de Cuenca, con un área de 72.32 km². El área total del cantón es de 3086 km², ocupando el área urbana apenas el 2.34%.

Mapa 2. Parroquias Urbanas-Cuenca.



Fuente: IGM-INEC

Mapa 3. Parroquias Rurales y zona urbana-Cuenca.



Fuente: IGM-INEC

Dividiendo el territorio en dos zonas, urbano y rural, según datos del Censo 2010 (INEC), el Cantón Cuenca registra la población de la Tabla 3.

Tabla 3. Población Cantón Cuenca.

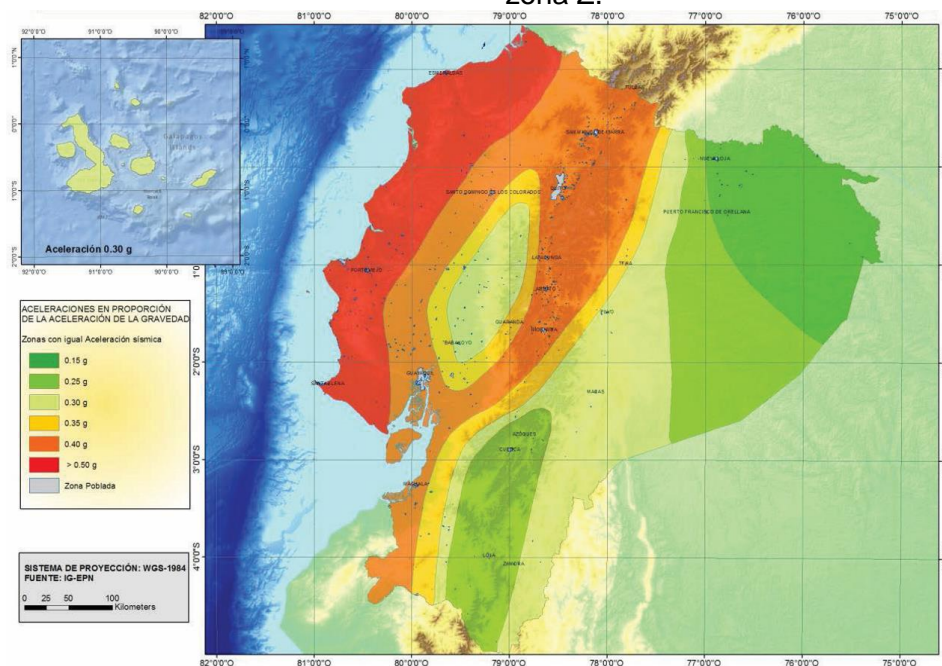
Nivel Cantonal	Población	%
Área Urbana	329 928	65,26%
Área Rural	175 657	34,74%
Total	505 585	100,00%

Fuente: INEC-2010

El Cantón Cuenca está permanentemente expuesto al impacto de variados fenómenos naturales causantes de desastres como: sismos, deslizamientos, derrumbes, aludes, etc., causados por fenómenos hidrometeorológicos gravitacionales y sísmicos. La investigación de estas amenazas ha contribuido a la obtención de mapas de peligrosidad. Centrándonos aquí en el apartado sísmico por lo que mostraremos mapas al respecto.

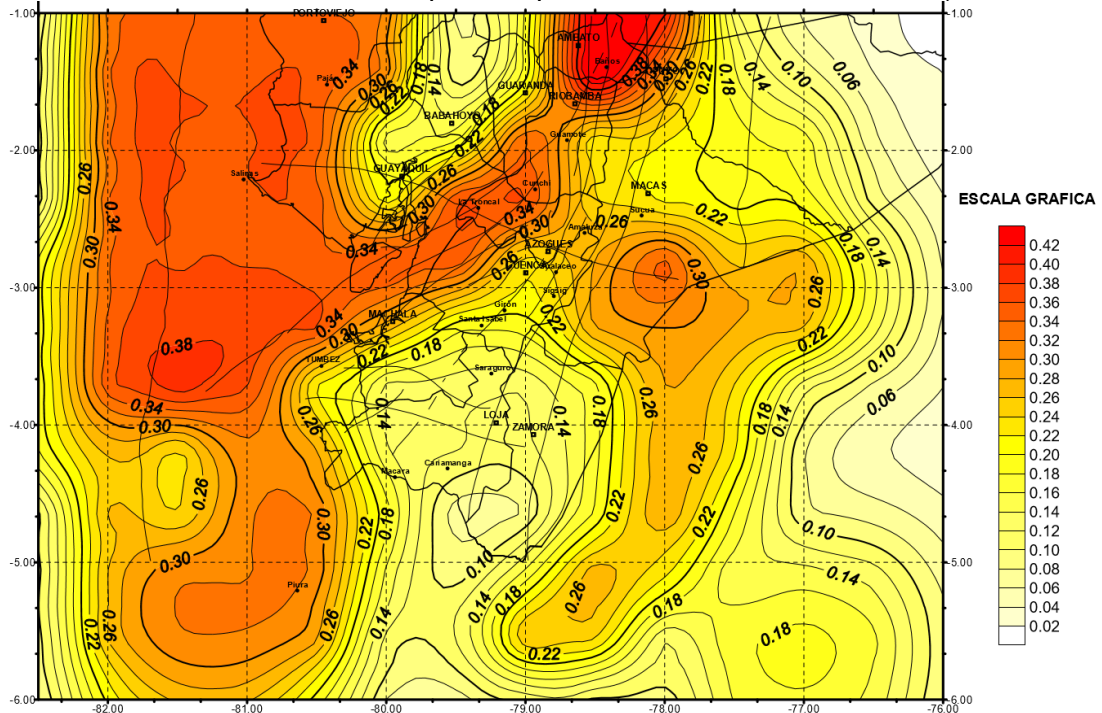
El tipo de exposición al peligro sísmico que tiene la Ciudad de Cuenca, se puede visualizar con los siguientes Mapas: *Zonificación sísmica de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)* y *Peligro Sísmico de la Red Sísmica del Austro*. A pesar de aportar gran información, dichos mapas deben ser completados y actualizados.

Mapa 4. Ecuador, zonas sísmicas para propósito de diseño y valor del factor de zona Z.



FUENTE: NEC-SE-DS Figura 1.

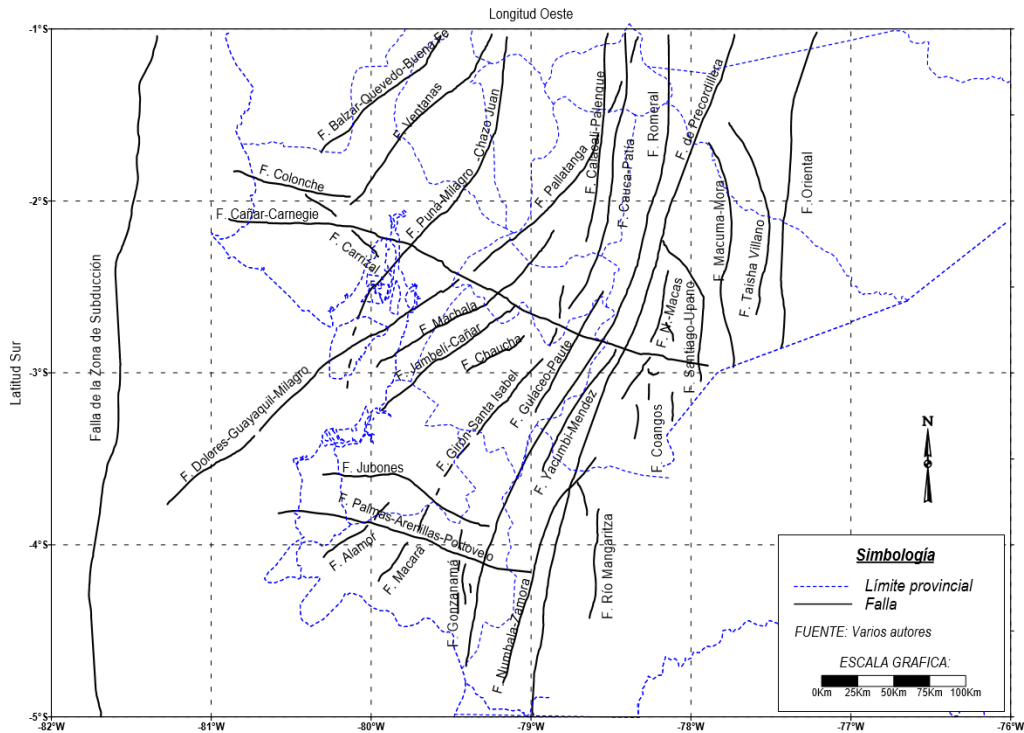
Mapa 5. Peligro Sísmico del Austro del Ecuador. (Mapa de aceleraciones máximas para un periodo de retorno de 475 años)



FUENTE: Estudio de Peligro Sísmico –RSA-Universidad de Cuenca-

También es importante conocer las fallas geológicas cercanas a la zona de estudio. Esta información indica los posibles generadores de sismos. Ver Mapa.

Mapa 6. Principales Fallas Geológicas del Austro del Ecuador



Fuente: Estudio del Peligro Sísmico de la Región Austral del Ecuador -RSA (García E.)-



3.1.2 Tipos de Suelos

Para este estudio, se consideran los tipos de suelos según la clasificación de perfiles de suelos que presenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción en el capítulo 2 “Peligro Sísmico Diseño sismo-resistente” (NEC-SE-DS – 2014). Se definen seis tipos de perfiles de suelos, los cuales se presentan en la Tabla 4:

Tabla 4. Clasificación de los perfiles de suelo según NEC-SE-DS

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$o 760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100$ KPa
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s $> V_s \geq 180$ m/s
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ 100 kPa $> S_u \geq 50$ kPa
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1—Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2—Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).	
	F3—Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con índice de Plasticidad $IP > 75$)	
	F4—Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 30m)	
	F5—Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.	
F6—Rellenos colocados sin control ingenieril.		

Fuente: NEC-SE-DS Tabla 2

Con esta clasificación, se definirán los tipos de perfiles de suelo para cada estación que tiene registros acelerográficos y que entran en el estudio. La Tabla 5 describe las estaciones acelerográficas con su correspondiente perfil de suelo asignado. En la tabla podemos identificar que tenemos tres tipos de suelo para el estudio de los espectros.

En este estudio se adicionó información de estaciones que se ubican en roca (Presa Chanlud Base, Presa Daniel Palacios y Presa Mazar Base), estas estaciones no están dentro de la zona urbana de Cuenca, pero son las más cercanas a la Ciudad de Cuenca. El objetivo es conocer el comportamiento de este tipo de suelo, que no existe, al momento, en la zona urbana del Cantón Cuenca.



Tabla 5. Estaciones Acelerográficas de la RSA con ubicación y tipo de perfil de suelo

Estación	Ubicación			Perfil de Suelo
	Latitud	Longitud	Altura	
	(°)	(°)	msnm	
UNIVERSIDAD DE CUENCA	-2.8981	-79.0074	2480	B
REGISTRO CIVIL	-2.9003	-78.9996	2532	B
MIRAFLORES	-2.8816	-78.9909	2541	C
CHANLUD BASE	-2.6747	-79.0392	3350	A
PRESA D.P.-BASE	-2.5955	-78.5647	1835	A
MAZAR BASE	-2.5938	-78.6227	2120	A

Fuente: Información de la RSA

3.1.3 Tipos de Estructuras

Según la NEC-SE-DS, los tipos de estructuras se clasifican por tres categorías, la primera según su importancia, la segunda según su sistema estructural y la tercera categoría depende de la configuración en planta y elevación. Dado que la investigación tiene el alcance de estudiar sistemas inelásticos que dependen de la ductilidad, la categoría de clasificación que nos interesa es según el sistema estructural, la misma que se muestra en la tabla a continuación y se define por el factor de reducción R.

Tabla 6. Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada

Sistemas Estructurales	R
Sistemas Estructurales Dúctiles	
Sistemas Duales	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas y con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras (sistemas duales).	8
Pórticos especiales sismo resistentes de acero laminado en caliente, sea con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas) o con muros estructurales de hormigón armado.	8
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente con diagonales rigidizadoras (excéntricas o concéntricas).	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas banda, con muros estructurales de hormigón armado o con diagonales rigidizadoras.	7
Pórticos resistentes a momentos	
Pórticos especiales sismo resistentes, de hormigón armado con vigas descolgadas.	8
Pórticos especiales sismo resistentes, de acero laminado en caliente o con elementos armados de placas.	8



Sistemas Estructurales	R
Pórticos con columnas de hormigón armado y vigas de acero laminado en caliente.	8
Otros sistemas estructurales para edificaciones	
Sistemas de muros estructurales dúctiles de hormigón armado.	5
Pórticos especiales sismo resistentes de hormigón armado con vigas banda.	5
Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	
Pórticos resistentes a momento	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM, limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la NEC-SE-HM con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
Muros estructurales portantes	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

Fuente: NEC-SE-DS Tablas 15 y 16

3.1.4 Clasificación de Acelerogramas

Los acelerogramas se pueden clasificar en función del tipo de fuente de información. Estos pueden ser obtenidos por medio de instrumentos y también por medio de cálculos de un acelerograma tipo, donde se obtiene familias de acelerogramas sintéticos.

Los acelerogramas obtenidos por instrumentos de medición son reales y son los que pueden dar a conocer el verdadero comportamiento del suelo ante un sismo. Sin embargo, si estos acelerogramas tienen aceleraciones bajas (por corresponderse con eventos pequeños), no son útiles para generar espectros de diseño.

Ahora bien, cuando no existe acelerogramas de eventos de mayor magnitud, es posible generar acelerogramas sintéticos a partir de un acelerograma tipo, en donde se aplica funciones de transferencia que consideran el efecto y características dinámicas del suelo local.

Esta monografía centra el estudio en acelerogramas de eventos reales, obtenidos de los equipos acelerográficos que mantiene la Red Sísmica del Austro. A continuación, se muestran imágenes de los tipos de equipos con que registra la R.S.A.:

Figura 14. Equipo Acelerográfico tipo SSA-1



Figura 15. Equipo Acelerográfico tipo SSA-2

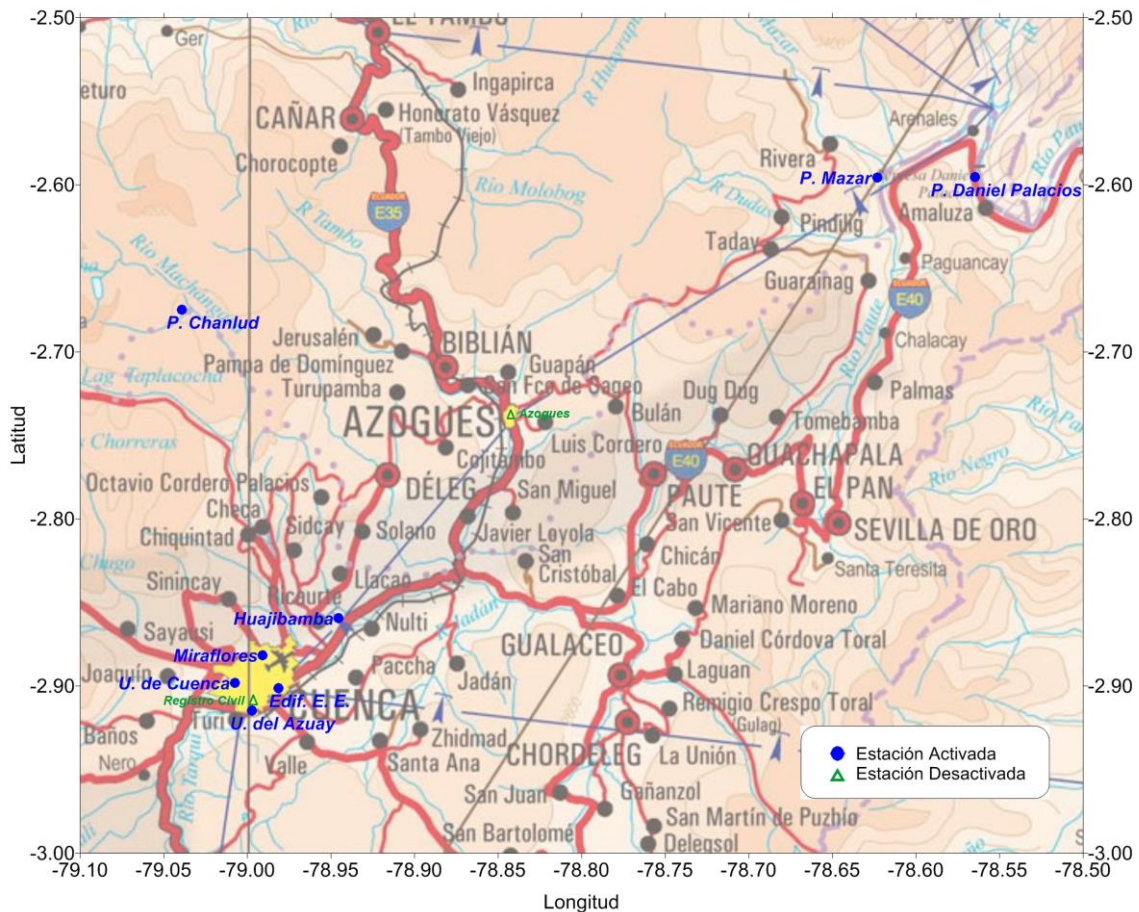


Figura 16. Equipo Acelerográfico tipo ETNA



Fuente: Fotos de la RSA

Mapa 7. Estaciones de acelerógrafos de la RSA



Fuente: RSA

3.2 Proceso de información

3.2.1 Procesado de datos

Los equipos acelerográficos guardan información en un archivo cuando detectan un movimiento. La sensibilidad de detección de eventos de movimiento, depende de la calibración que se le dé al equipo. Estos archivos por lo general contienen: información de identificación del equipo y estación; fecha y hora de registro, parámetros de calibración de sensores y los datos del evento en tres componentes (longitudinal, transversal y vertical).

De cada equipo acelerográfico se obtienen los siguientes tipos de archivos:

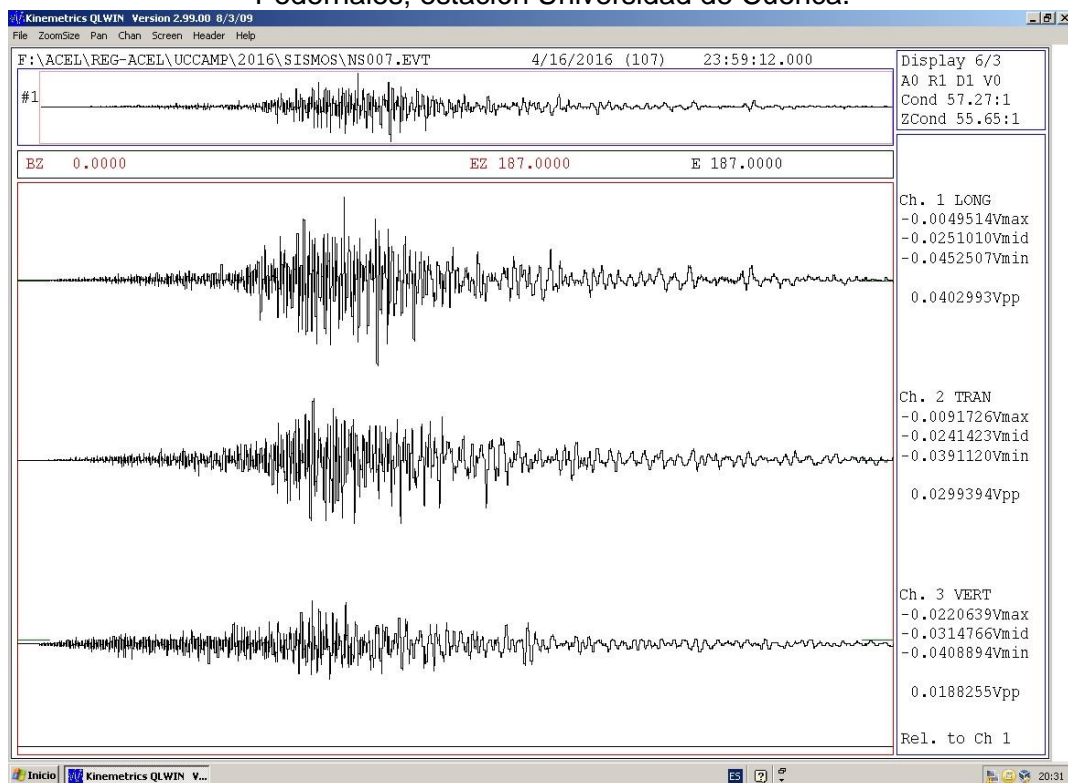
- De los equipos SSA-1 y SSA-2, se obtiene archivos guardados en formato hexadecimal con extensión “.ssa”

- De los equipos ETNA, se obtiene archivos guardados en formato hexadecimal con extensión “.evt”

Las estructuras de datos de los archivos “.ssa” y “.evt” son diferentes, por lo que se utiliza un programa de conversión, otorgada por la misma casa fabricante de los equipos –Kinematics-, llamado “KMI SSA2EVT”

Convertidos todos los archivos de registro en archivos tipo “.evt”, se procede a visualizar cada registro por medio del software “Quick Look” (software proporcionado por Kinematics -fabricante de los acelerógrafos que mantiene la RSA-). Este software visualiza el evento con gráficas de tiempo vs. tensión en las componentes que tenga el equipo. Para el caso de los equipos de la RSA, las componentes son: longitudinal, vertical y transversal. El objetivo de visualizar cada señal registrada es para identificar si la señal de movimiento proviene de un evento sísmico o un evento no sísmico, como ruido o golpes cercanos al equipo. Un evento sísmico debe visualizar la onda “P” y la onda “S”. Tómese en cuenta que algunos registros no presentan las dos ondas a la vez; sin embargo, se puede aceptar si el evento tiene solo la onda “S”. (Ver Figura 17)

Figura 17. Software de visualización de eventos registrados. Ejemplo: TERREMOTO de Pedernales; estación Universidad de Cuenca.



Fuente: RSA



Con los archivos “. evt” se utiliza otra aplicación creada por la casa fabricante de los equipos que permite obtener los acelerogramas con la corrección instrumental y corrección de línea base con las unidades que se escoja en las opciones del programa. El programa se llama “KW2CNT32.exe” y que da como resultado los acelerogramas de cada componente. Estos archivos son:

- Acelerograma de la componente Longitudinal en cm/sg^2 : “.1mg”
- Acelerograma de la componente Transversal en cm/sg^2 : “.2mg”
- Acelerograma de la componente Vertical en cm/sg^2 : “.3mg”
- Encabezado con la información del equipo y evento: “. SHG”

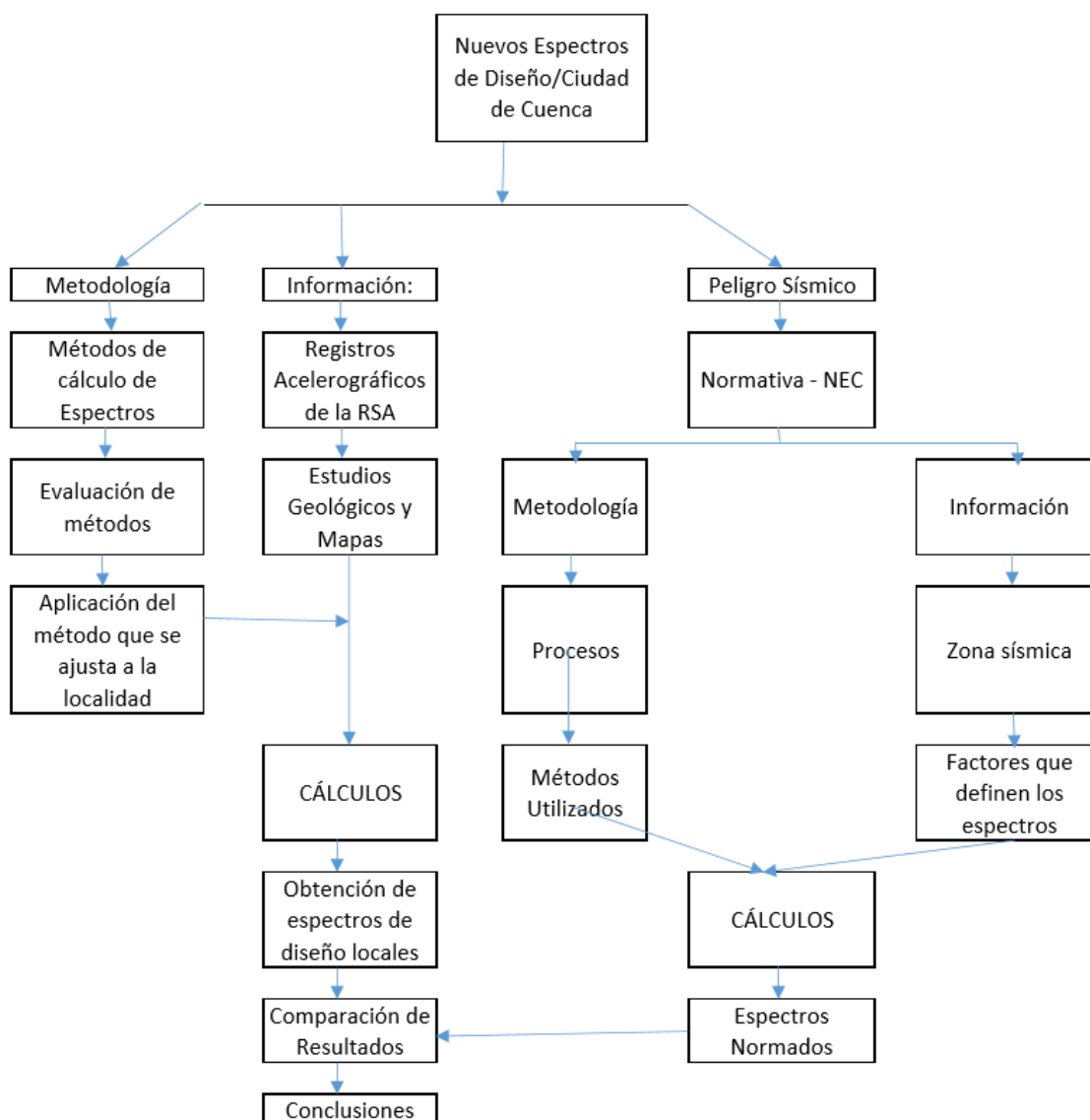
Para graficar los acelerogramas y los espectros se utilizan hojas electrónicas (EXCEL), para calcular los espectros se utiliza el software “SeismoSignal”, capaz de leer acelerogramas guardados en diferentes formatos de archivo de texto, pudiendo filtrar y corregir la línea base, permitiendo emplear polinomios de hasta tercer orden para este último. Dispone de tres tipos de filtros digitales diferentes, los cuales son capaces de llevar a cabo el filtrado paso alto, paso bajo, paso banda y elimina banda. Sin embargo, estas herramientas de procesado no han sido aplicadas debido a que las señales son previamente filtradas con los procesos de la misma casa fabricante de los equipos, trabajando así en frecuencias de vibración mayores a 0.33hz que son los de interés para edificaciones.

El módulo utilizado del programa “SeismoSignal” es “Elastic and Inelastic Response Spectra”, permite obtener espectros elásticos e inelásticos de Respuesta. Para el uso del programa se solicitó una licencia de tipo investigativa, otorgada y registrada a nombre de “Henry Bermeo” de la Institución/organización; “Universidad de Cuenca”. *“En este módulo se pueden obtener espectros de respuesta elástica e inelástica de aceleración, velocidad y desplazamiento. Los espectros se calculan por medio de la integración de la ecuación de movimiento a lo largo del tiempo, de una serie de sistemas de un solo grado de libertad, de la que se obtienen entonces las cantidades de respuesta pico de desplazamiento, velocidad y aceleración; y se representa en el periodo respecto a los gráficos de amplitud, comúnmente conocidos como espectros de respuesta. Además, y para el caso de los espectros elásticos solamente, los valores de respuesta de la pseudo-velocidad y pseudo-aceleración, se obtienen a través de la multiplicación de los valores de respuesta de desplazamiento por ω y ω^2 , respectivamente (“ ω ”= frecuencia angular). Para más detalles sobre estos*

procedimientos hacer referencia a la literatura Clough y Penzien, 1994; Chopra, 1995.” (SeismoSignal-Software-Help).

Finalmente, se obtuvieron los espectros de la última normativa (NEC-SE-DS-2015) por medio de una hoja electrónica. Con esta información se pudieron comparar y analizar los resultados, obtenidos para las conclusiones y recomendaciones del caso.

3.2.1.1. Diagrama de procesado



3.2.1.2. Utilitarios: SeismoSignal, MS Excel

SeismoSignal es un software creado por expertos en tratamiento de señales de eventos sísmicos (© 2002-2013 Seimosoft Ltd. All rights reserved); los creadores del software otorgaron una licencia de tipo académica para el uso en la RSA con la que



fue posible obtener los espectros a partir de los acelerogramas registrados por los equipos de la RSA en la zona de monitoreo.

En un breve resumen describimos las capacidades de SeismoSignal: este software constituye en procesar de una manera fácil y eficiente los datos de movimientos sísmicos (Acelerogramas). Ofrece un interfaz visual fácil de usar y tiene la capacidad de derivar una serie de parámetros útiles en la sismología e ingeniería sísmica. Entre los que nos interesan se encuentran los siguientes:

- espectros de Fourier y energía,
- espectros de respuesta elástica e inelástica (con constante de ductilidad); en sistemas amortiguados.
- Por último, y debido a su completa integración con el entorno Windows, SeismoSignal permite obtener resultados numéricos y gráficos que se pueden exportar a cualquier aplicación de Windows (por ejemplo, MS Excel, MS Word, etc.).

A continuación, se presenta un resumen de los procesos que realiza “SeismoSignal” en la obtención de espectros:

“Espectro Elástico. - El espectro elástico se calcula para un número mínimo de valores de amortiguamiento viscoso que es 1, lo que significa eficazmente que incluso cuando se calcula la constante de ductilidad de espectros inelásticos, su contraparte elástica de amortiguación viscoso se calcula siempre. Sin embargo, el usuario tiene la posibilidad de cambiar el nivel de amortiguamiento viscoso asociado a dicho espectro elástico, que se define aquí como un porcentaje del valor de amortiguamiento crítico, y por lo general con valores que van de 0 a 5% [Chopra, 1995]. Mediante la definición de valores relativamente grandes de amortiguamiento viscoso equivalente, también se puede obtener fácilmente espectros elásticos de sistemas sobre amortiguados.” (Traducción-SeismoSignal-Software).

“Espectro Inelástico. - los espectros inelásticos dependen de la Constante de ductilidad para reproducir la respuesta estructural no lineal real por medio de una representación elasto-plástico del sistema. De esta manera, la energía disipada a



través de histéresis⁶ viene explícitamente modelada, con sólo una cantidad relativamente pequeña de amortiguamiento viscoso (por lo general no más de 5%) se añade al sistema, para representar de alguna manera los mecanismos de disipación de energía no histerética. Hasta seis niveles de ductilidad de desplazamiento se pueden definir, puede oscilar entre 1,5 y 10.0, mientras que la proporción de endurecimiento cinemático post-fluencia se puede hacer variar entre 0,0 y 1,0 (el valor por defecto es 0.0, es decir, sin endurecimiento, por lo tanto, el sistema es perfectamente elasto-plástico).” (Traducción-SeismoSignal-Software).

“Rango espectral período y el paso. - Los períodos mínimos y máximos de interés serán definidos en un rango típico para aplicaciones estructurales estándar, estos corresponden a 0,02 y 4,0 segundos, respectivamente. Además, el valor de paso de tiempo, empleada en el cálculo de los diferentes valores que componen los espectros, es también a determinar. El valor por defecto es 0.02 segundos.”

“Parámetros de integración numérica. - para determinación el espectro de respuesta elástica e inelástica se requiere el cálculo de los valores pico de respuesta de los osciladores de un grado de libertad con diferentes períodos de vibración que están sometidos a la aceleración considerando la historia en el tiempo. Por lo tanto, el análisis dinámico lineal y no lineal debe ser llevado a cabo, por un proceso de integración numérica directa, con el fin de resolver el sistema de ecuaciones de movimiento [Clough y Penzien, 1994; Chopra, 1995]. En SeismoSignal, dicha integración se lleva a cabo por medio del proceso de integración Newmark [Newmark, 1959].

El proceso de integración de Newmark requiere la definición de dos parámetros; beta (β) y gamma (γ). La estabilidad incondicional, independiente del paso de tiempo utilizado, se puede obtener para valores de $\beta \geq 0,25 (\gamma + 0,5)^2$. Además, si se adopta $\gamma = 0,5$; el proceso de integración se reduce a la regla conocida como trapecios no-disipativos, con lo que no se introduce la amplitud del amortiguamiento numérico, un

⁶ La histéresis es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado, pudiendo encontrarse diferentes manifestaciones de este fenómeno. Por extensión se aplica a fenómenos que no dependen sólo de las condiciones actuales, sino también de cómo se ha llegado a esas condiciones.



escenario que es claramente ventajoso dentro del alcance de la aplicación actual. Los valores por defecto son, por tanto, $\beta = 0,25$ y $\gamma = 0,5$.

Se observa, sin embargo, que la regla trapezoidal requiere el uso relativamente de pequeños pasos de tiempo con el fin de ofrecer soluciones suficientemente precisas, la razón por la cual se analiza una relación máxima entre el tiempo de integración a paso y el período del oscilador impuesto ($\text{máx } dt / T = 0,02$, por defecto). Como punto de partida, el programa utiliza el tiempo de paso del acelerograma cargado como el paso de tiempo del análisis dinámico y, a continuación, comprueba si esto no resulta ser superior al 2% (o cualquier otro valor umbral adoptado por el usuario) del período del sistema que se analiza. Si es de hecho mayor, entonces el algoritmo cambia automáticamente la integración paso de tiempo para que se respete la relación máxima dt / T , subdividir, a través de la interpolación lineal, el acelerograma de entrada, como se requiere para la integración de la ecuación de movimiento. Se observa que el valor predeterminado dt / T máximo ($dt / T = 0,02$) comúnmente conduce a soluciones suficientemente precisos, por lo general no se requiere que los usuarios tengan razón para cambiar este valor. En cualquier caso, si los usuarios están interesados, sólo tienen que llevar a cabo un estudio sensible con el fin de determinar el mayor valor de DT / T que proporciona soluciones totalmente precisas.” (Traducción-SeismoSignal-Software).

Con la información procesada en SeismoSignal, se exporta los resultados a una hoja electrónica, dentro de la hoja electrónica se realizan los cálculos necesarios para obtener las gráficas definitivas de los espectros en estudio.

3.2.2 Tabulación y clasificación

La tabulación de datos consiste en ordenar la información obtenida por cada estación desde el año en que inició a monitorear el acelerógrafo. En esta fase se utilizan solo los eventos que provienen de sismos. Dentro de la tabulación se define una identificación de cada evento en función de su fecha, hora y estación donde se registró.

Los eventos pueden clasificarse según la distancia epicentral. Normalmente se consideran sismos cercanos cuando la distancia epicentral es igual o menor a 100km y los que están a más de 100km se consideran como sismos lejanos (NEWMARK-HALL, 1982).



Otra clasificación depende de la profundidad, Si el sismo ocurrió a profundidades menores o iguales a 40km se trata de un sismo superficial; si la profundidad está entre 40 y 70km es un sismo con profundidad media; y si la profundidad es mayor a 70km, es un sismo profundo.

Por último, se pueden clasificar en función de su magnitud. Esta clasificación se puede ver en la Tabla 1 (Tabla de Magnitudes) del Capítulo 1 de este documento.

A partir de la Tabla 8 se muestran las listas de los eventos sísmicos que fueron registrados por las estaciones acelerográficas de la RSA; estos registros fueron procesados y clasificados, teniendo como resultado un grupo de acelerogramas para cada estación. Cabe anotar, que cada acelerograma al registrar un evento guarda la señal de tres componentes, dos horizontales y una vertical, utilizando para el presente estudio las componentes horizontales.

En resumen, tenemos la siguiente lista de estaciones con el número de eventos procesados:

Tabla 7. Lista de Estaciones y Nro. de Registros Procesados

Estación	Nro. De Eventos
UNIVERSIDAD DE CUENCA	46
REGISTRO CIVIL	141
MIRAFLORES	91
CHANLUD BASE	29
PRESA D.P.-BASE	93
MAZAR BASE	33

Fuente: RSA

Cada registro es identificado por su estación, nombre, fecha y hora de registro. Por medio de la fecha y hora, con los catálogos de eventos sísmicos, es posible conocer la ubicación de donde proviene el evento; con esta información se puede calcular la distancia epicentral entre el evento y la estación. En los anexos se puede visualizar las gráficas de aceleración, velocidad, desplazamiento y espectros de los eventos de mayor magnitud y más cercanos a la estación que le registró. Adicional se muestra los registros del Terremoto de Pedernales ocurrido el 16 de abril de 2016.

Los catálogos utilizados para la ubicación de los eventos son los de las siguientes instituciones:



- Red Sísmica del Austro, RSA
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, IG-EPN
- National Earthquake Information Center, NEIC
- International Seismological Centre, ISC
- IRIS Earthquake Browser.

El resultado obtenido de la ubicación de cada registro acelerográfico se puede ver en las siguientes tablas.

Tabla 8. Eventos registrados en la estación UNIVERSIDAD DE CUENCA

ACELEROGRAMAS REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN: U. de CUENCA							
Ubicación:		Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (msnm)			
		-2.90	-79.01	2480			
Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
1998/03/20	21:22:02	-4.2530	-80.7090	33.00	5.0	mb	241
1998/03/23	7:26:46	-2.6868	-79.3823	33.00	3.9	Md	48
1998/03/26	11:15:31	-3.1300	-78.9900	100.00	4.2	mb	26
1998/05/16	3:54:47	-3.4591	-79.6639	62.50	4.0	Md	96
1998/05/28	22:51:51	-3.4200	-79.0600	15.00	4.7	mb	58
1998/08/04	12:36:21	-0.5739	-80.7256	16.85	5.4	mb	320
1998/08/04	13:59:53	-0.7700	-80.3800	50.00	7.1	Mw	280
1998/09/16	6:29:03	-3.3322	-79.4900	53.54	4.9	mb	72
1998/10/22	20:50:06	-2.8028	-76.6119	251.45	5.5	Mw	267
1999/07/15	13:55:03	-2.4800	-79.2200	5.00	4.5	Md	52
1999/07/16	14:44:35	-3.4348	-79.9163	68.93	4.5	Md	117
1999/08/03	10:59:00	-3.4013	-79.1959	64.11	5.3	Md	59
1999/08/28	7:40:28	-1.2540	-77.5310	219.00	5.7	Mb	245
1999/09/04	7:40:00	-2.4543	-78.6038	26.98	4.7	Md	66
1999/10/21	1:38:00	-1.6101	-78.3644	212.76	4.8	Md	159
1999/10/22	9:29:00	-2.4700	-78.9300	14.42	4.5	Md	48
2000/05/13	18:50:00	-2.2400	-80.1000	50.00	4.1	Md	142
2000/09/02	12:17:00	-2.5800	-79.6700	50.00	4.3	Md	82
2000/09/20	12:13:49	-2.4400	-79.6700	49.39	4.5	Md	89
2000/09/28	18:25:19	-0.5200	-80.3800	50.01	4.9	Md	304
2000/10/06	19:00:17	-3.2200	-78.8800	70.39	4.6	mb	38
2001/04/04	3:59:29	-2.5000	-79.8100	59.03	4.5	Mb	99
2002/03/17	15:22:00	-3.0965	-79.7876	70.60	5.1	Mb	89
2003/09/01	18:20:00	-3.4537	-78.8361	91.05	5.1	Md	64
2004/05/25	5:04:00	-4.6566	-80.2502	122.39	4.9	MwHRV	239
2006/10/31	4:55:00	-1.0222	-77.9025	175.66	5.4	MwGCMT	241
2006/11/27	19:40:00	-2.8476	-78.6760	147.55	4.0	mbGS	37
2007/06/10	19:19:20	-3.2837	-79.1515	81.07	5.1	MwGCMT	46
2007/07/13	2:20:34	-3.8939	-79.9617	18.29	4.5	mbGS	153
2007/07/21	13:58:10	-1.8222	-78.3883	205.88	5.2	MwGCMT	137
2007/08/21	22:38:47	-2.6969	-79.7312	46.61	4.2	mbGS	83
2007/09/25	23:42:46	-3.9955	-79.4434	116.21	5.9	MwGS	131
2007/11/15	22:12:11	-2.4178	-77.7702	167.66	6.8	MwGCMT	147
2008/01/26	12:59:28	-3.2200	-80.7200	50.91	5.2	MwGCMT	194



Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2008/08/29	1:05:00	-2.3910	-79.0931	29.86	3.9	Md	57
2009/04/15	23:15:00	-2.5381	-79.5855	71.59	4.2	Md	76
2009/06/30	15:05:24	-2.1614	-79.9163	86.30	4.1	Md	130
2009/07/19	3:35:44	-1.8832	-80.5681	40.53	5.4	MwGCMT	207
2010/09/11	13:56:08	-4.2400	-80.5800	61.00	5.1	mbGS	229
2011/01/01	6:28:00	-2.7458	-79.6004	85.83	4.1	Md	68
2011/04/20	17:28:22	-3.9100	-79.6675	92.10	4.7	mbGS	134
2011/09/01	22:46:47	-3.5283	-79.8703	75.16	4.9	mbGS	119
2015/11/17	1:16:26	-2.1296	-79.5740	72.26	4.4	Md	106
2015/12/19	7:07:44	-2.8869	-79.3577	66.10	4.5	Md	39
2016/04/16	18:58:00	0.3529	-79.9250	21.00	7.8	Mw	374
2016/05/24	11:35:19	-2.7530	-79.0247	101.98	4.7	Md	16

Tabla 9. Eventos registrados en la estación REGISTRO CIVIL

ACELEROGRAMAS REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN: REGISTRO CIVIL							
Ubicación:		Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (msnm)			
		-2.90	-79.00	2532			
Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2000/02/28	8:51:00	-3.5809	-79.2751	103.23	4.3	Md	81
2000/05/13	18:50:00	-2.2400	-80.1000	50.00	4.1	Md	142
2000/05/22	8:15:00	-3.6454	-80.2916	64.88	5.8	mb	166
2000/09/02	12:15:00	-2.5800	-79.6700	50.00	4.3	Md	83
2000/09/20	3:37:00	-2.0924	-80.1184	47.28	5.5	Mb	153
2000/09/28	18:25:00	-0.5200	-80.3800	50.01	4.9	Md	305
2000/10/06	19:00:00	-3.2200	-78.8800	70.39	4.6	mb	38
2000/11/13	16:26:00	-2.7100	-79.8400	55.52	4.0	Md	96
2001/03/21	6:05:00	-3.0100	-78.9500	75.00	4.1	Mb	13
2001/04/04	3:56:00	-2.5000	-79.8100	59.03	4.5	Mb	100
2001/04/25	17:01:00	-2.7500	-78.2300	75.00	3.8	Md	87
2001/06/01	22:13:00	-2.3600	-79.0500	14.20	4.1	Mb	60
2001/06/23	19:29:00	-4.2800	-81.4200	104.08	5.0	Mb	309
2001/06/23	19:49:00	-4.1900	-81.6700	51.13	5.1	Mb	329
2001/06/28	22:12:00	-4.1900	-81.6200	50.00	5.1	Mb	324
2001/08/18	0:36:00	-3.3100	-77.3800	90.00	4.7	Mb	186
2001/09/22	23:06:00	-1.9150	-79.4680	86.40	4.7	Mb	121
2001/11/17	11:31:00	-3.5800	-77.9900	108.22	5.1	Mb	135
2002/02/11	21:08:00	-3.2689	-79.6069	66.49	4.1	Md	79
2002/02/27	15:01:00	-2.6141	-79.4578	49.16	4.0	Md	60
2002/03/17	15:22:00	-3.0965	-79.7876	70.60	5.1	Mb	90
2002/04/06	9:41:00	-2.8100	-79.8000	50.38	4.5	Mb	90
2002/07/08	1:28:00	-2.1837	-78.9609	22.55	3.9	Md	79
2002/07/27	0:21:00	-2.3900	-79.8300	68.33	4.0	Md	108
2002/08/31	6:30:00	-2.7200	-79.9100	42.60	4.1	Md	103
2002/09/05	4:19:00	-2.2619	-79.0863	19.94	4.4	Md	71
2002/09/30	16:54:00	-1.7309	-79.3592	28.36	4.1	Md	135
2002/11/09	16:51:00	-4.1000	-81.2600	50.02	4.7	Mb	284
2002/11/11	18:53:00	-2.2589	-80.2251	22.17	5.1	Mb	154
2002/11/28	18:53:00	-1.8636	-79.7110	38.73	4.2	Md	139



Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2003/01/04	6:35:00	-3.5500	-80.0500	36.38	4.1	Md	137
2003/01/21	9:26:00	-2.5493	-79.1599	51.95	3.7	Md	43
2003/01/31	11:54:00	-2.9252	-76.9074	129.49	5.0	Mb	233
2003/02/05	20:23:00	-2.9948	-78.9679	94.24	3.9	Md	11
2003/03/17	6:15:00	-2.5700	-79.5300	14.21	4.0	Md	69
2005/10/26	17:40:00	-1.9152	-77.8179	142.44	4.0	mbGS	171
2005/10/27	7:53:00	-2.3300	-79.5500	77.80	4.3	Md	88
2005/10/29	21:50:00	-3.5541	-79.4519	87.38	4.1	Md	88
2005/11/05	4:10:00	-2.0822	-80.3596	16.13	5.1	MwHRV	176
2005/11/09	6:33:00	-1.2900	-76.6300	260.00	5.9	MwGS	318
2005/11/29	0:49:00	-3.6030	-79.5422	75.72	4.1	Md	98
2005/12/12	16:07:00	-1.8494	-79.9408	24.68	4.3	mbGS	156
2005/12/17	18:12:00	-2.3215	-79.7914	45.28	4.4	mbGS	109
2005/12/23	16:47:00	-1.7782	-77.8919	270.94	6.1	MwGS	175
2005/12/24	9:19:00	-2.7318	-78.9169	100.08	4.1	Md	21
2006/01/08	1:23:00	-1.6336	-78.2754	245.00	4.6	mbGS	162
2006/01/22	1:18:00	-1.7434	-77.8564	247.47	4.3	mbGS	180
2006/01/24	22:10:00	-3.5346	-79.8855	70.96	4.0	Md	121
2006/01/28	18:51:00	-3.0144	-79.4202	13.95	4.1	Md	48
2006/02/08	5:05:00	-2.4483	-78.3666	125.34	4.0	Md	86
2006/02/18	16:07:00	-4.2700	-79.3800	93.00	4.5	mbGS	157
2006/04/22	11:07:00	-3.2854	-79.3121	102.82	4.1	Md	55
2006/06/21	7:40:00	-2.1552	-77.2779	199.44	5.3	MwHRV	208
2006/06/23	17:11:00	-2.2940	-77.5422	221.93	4.1	Md	175
2007/07/13	2:20:00	-3.8939	-79.9617	18.29	4.5	mbGS	153
2007/07/21	13:58:00	-1.8222	-78.3883	205.88	5.2	MwGCMT	137
2007/08/15	7:38:00	-3.3500	-80.6900	50.28	4.7	mbGS	194
2007/08/15	18:40:00	-13.3836	-76.5555	41.20	6.6	Mb	1191
2007/08/21	22:27:00	-4.5000	-75.6500	56.06	4.4	Md	412
2007/09/20	2:20:00	-3.6547	-79.7885	9.88	4.2	Md	121
2007/09/23	15:58:00	-2.6670	-78.5737	111.58	4.1	Md	54
2007/09/25	23:42:00	-3.9955	-79.4434	116.21	5.9	MwGS	131
2007/10/27	22:32:00	-3.0791	-78.8386	88.35	4.0	Md	27
2007/10/29	4:22:00	-2.0003	-77.9108	263.16	4.3	mbGS	157
2007/11/15	22:12:00	-2.4178	-77.7702	167.66	6.8	MwGCMT	147
2007/12/02	22:08:00	-2.0411	-77.9658	273.83	4.5	mbGS	149
2007/12/03	1:41:00	-2.2831	-78.1423	180.54	4.2	mbGS	117
2007/12/22	10:52:00	-2.0455	-79.6729	99.00	4.3	Md	121
2007/12/24	9:26:00	-2.0298	-77.8371	259.46	4.5	mbGS	161
2007/12/24	23:30:00	-3.6126	-80.1729	82.92	4.0	mbGS	152
2008/01/04	2:28:00	-3.1895	-79.0874	19.81	4.0	Md	33
2008/01/13	2:06:00	-2.7219	-79.3104	85.98	4.0	Md	40
2008/01/23	16:49:00	-2.3370	-79.9334	43.50	4.3	Md	121
2008/01/26	4:35:00	-2.8065	-78.9092	107.49	4.2	Md	14
2008/01/26	12:59:00	-3.2200	-80.7200	50.91	5.2	MwGCMT	194
2008/02/04	5:52:00	-2.6598	-79.1340	88.02	4.2	Md	31
2008/02/08	18:28:00	-4.0583	-79.7568	72.05	4.3	Md	153
2008/03/21	0:31:00	-3.1070	-79.0980	81.17	4.2	mbGS	25
2008/05/14	20:54:00	-2.6288	-77.8810	82.75	4.5	mbGS	128
2008/05/25	4:05:00	-2.3929	-78.4069	120.99	4.3	MDQUI	87



Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2008/05/30	3:37:00	-3.2074	-78.8934	91.68	4.0	Md	36
2008/06/09	2:31:00	-1.7122	-77.3093	261.28	4.6	mbGS	229
2008/07/02	13:52:00	-2.3204	-79.7654	82.61	4.0	Md	107
2008/07/04	1:02:00	-1.7899	-77.9438	255.45	5.2	MwGCMT	170
2008/07/04	1:02:00	-1.7899	-77.9438	255.45	5.2	MwGCMT	170
2008/07/18	0:41:00	-1.9179	-80.2472	11.38	5.0	MwGCMT	176
2008/08/26	16:00:00	-8.0500	-74.3300	54.90	5.6	Md	771
2008/08/29	1:05:00	-2.3910	-79.0931	29.86	3.9	Md	57
2008/09/24	18:32:00	-2.9358	-79.2713	74.43	4.4	MDQUI	30
2008/10/15	5:16:00	-3.4000	-78.7400	10.00	4.1	Md	62
2008/10/30	6:47:00	-2.7221	-79.7490	47.48	4.2	Md	86
2008/12/12	15:25:00	-3.8177	-79.6477	100.12	4.5	mbGS	124
2009/01/07	10:16:00	-1.9062	-77.4826	235.66	4.2	Md	201
2009/01/28	6:53:00	-2.1436	-79.6894	100.59	4.2	mbGS	114
2009/02/05	7:06:00	-1.7340	-78.0045	227.01	4.3	Md	170
2009/02/08	15:49:00	-2.6319	-78.9662	88.06	5.0	MwGCMT	30
2009/02/10	5:45:00	-2.9519	-79.3074	77.80	3.9	Md	35
2009/02/15	5:04:00	-6.8400	-82.2300	54.90	5.1	Md	565
2009/02/15	9:18:00	-2.4524	-78.0026	127.50	4.1	Md	121
2009/04/15	23:15:00	-2.5381	-79.5855	71.59	4.2	Md	76
2009/04/30	19:34:00	-1.8293	-77.5610	250.96	5.1	MwGCMT	199
2009/05/06	5:08:00	-2.5356	-80.2163	36.69	4.5	mbGS	141
2009/06/09	14:25:00	-3.3800	-80.0000	61.54	4.1	Md	123
2009/06/11	16:38:00	-2.9612	-79.0461	81.33	3.9	Md	8
2009/06/23	22:38:00	-1.7859	-77.5562	233.62	4.6	mbGS	202
2009/06/30	15:05:00	-2.1614	-79.9163	86.30	4.1	Md	131
2009/07/19	3:35:00	-1.8832	-80.5681	40.53	5.4	MwGCMT	208
2009/08/06	6:38:00	-4.0673	-79.6242	43.97	4.1	Md	147
2009/08/09	12:03:00	-2.2091	-79.4992	83.03	4.0	Md	94
2009/08/28	11:33:00	-2.1958	-79.7840	44.18	4.3	Md	117
2009/09/08	0:31:00	-3.4603	-80.7115	41.42	4.2	Md	200
2009/10/09	13:11:00	-0.9700	-77.3500	51.63	5.2	MwGCMT	281
2009/10/14	20:42:00	-4.7229	-80.4969	79.55	5.0	mbGS	261
2009/10/15	19:24:00	-2.2469	-79.6473	90.13	4.1	Md	102
2009/10/16	21:48:00	-3.1601	-80.0615	41.95	4.1	Md	121
2009/12/14	23:04:00	-2.3400	-79.2200	50.06	3.7	Md	67
2009/12/19	12:24:00	-2.6337	-80.1226	25.43	4.1	Md	128
2010/01/16	22:05:00	-3.2695	-78.5101	69.89	4.1	Md	68
2010/01/27	18:38:00	-3.2582	-78.3736	30.81	4.1	Md	80
2010/02/06	3:56:00	0.2447	-78.4570	25.24	4.6	mbGS	353
2010/02/17	13:53:00	-2.2900	-79.9800	41.16	4.1	Md	128
2010/02/26	15:06:00	-0.8148	-79.3576	29.65	4.6	mbGS	234
2010/02/28	5:27:00	-2.1231	-79.7664	78.75	5.3	mbGS	121
2010/03/12	9:31:00	-2.7130	-78.8369	57.60	3.8	Md	27
2010/03/19	14:57:00	-3.2000	-78.0900	50.81	4.6	mbGS	106
2010/03/20	14:14:00	-1.8858	-80.3484	85.53	4.4	MDQUI	187
2010/04/12	0:51:00	-0.8329	-78.2040	34.30	5.0	mbGS	245
2010/05/03	1:41:00	-4.1410	-83.4485	47.44	4.4	Md	513
2010/05/18	23:15:00	-5.0700	-77.5400	140.00	6.0	MwUCMT	290
2010/05/20	12:38:00	-1.8130	-78.5950	162.28	4.5	mbGS	128



Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2010/05/22	4:07:00	-2.4949	-79.9654	44.59	4.0	Md	116
2010/06/09	0:55:00	-2.4002	-79.4766	137.26	4.0	Md	77
2010/08/03	0:32:00	-2.5604	-79.7064	100.66	4.3	mbGS	87
2010/08/12	6:54:00	-0.7000	-77.3000	211.00	7.1	MwUCMT	308
2010/08/13	23:39:00	-0.6571	-77.5494	32.53	4.4	mbGS	296
2010/08/16	22:23:00	-3.9362	-80.1098	98.81	4.5	Md	168
2010/09/05	20:04:00	-2.9875	-79.8705	54.95	3.8	Md	97
2010/09/11	13:55:00	-4.2400	-80.5800	61.00	5.1	mbGS	230
2010/09/21	1:30:00	-3.1778	-78.9630	69.98	3.8	Md	31
2010/10/08	5:46:00	-3.7636	-79.8690	99.30	4.0	Md	136
2010/10/31	2:32:00	-2.6473	-79.4921	34.10	3.7	Md	61

Tabla 10. Eventos registrados en la estación MIRAFLORES

ACELEROGRAMAS REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN: MIRAFLORES							
Ubicación:		Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (msnm)			
		-2.88	-78.99	2539			
Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2009/09/02	12:15:09	-2.5800	-79.6700	50.00	4.3	Md	83
2000/09/20	3:37:01	-2.0924	-80.1184	47.28	5.5	Mb	153
2000/09/20	12:13:01	-2.4400	-79.6700	49.39	4.5	Md	90
2000/09/28	18:24:17	-0.5200	-80.3800	50.01	4.9	Md	303
2000/10/06	19:00:00	-3.2200	-78.8800	70.39	4.6	mb	39
2002/06/20	14:11:11	-2.1200	-79.7000	44.70	3.9	Md	115
2002/09/05	4:19:32	-2.2619	-79.0863	19.94	4.4	Md	69
2002/11/28	18:53:25	-1.8636	-79.7110	38.73	4.2	Md	138
2003/03/17	6:15:00	-2.5700	-79.5300	14.21	4.0	Md	69
2005/05/13	14:18:00	-3.8300	-81.0700	51.28	5.0	MwHRV	254
2005/05/15	2:16:00	-2.9700	-79.4200	83.00	4.6	mbGS	49
2005/05/21	0:11:15	-3.5729	-81.1539	27.04	6.3	MwGS	252
2005/08/08	16:11:00	-2.2878	-78.5319	95.91	4.4	mbGS	83
2005/09/25	20:55:00	-5.5700	-76.5300	51.22	7.5	Md	404
2005/10/27	7:53:00	-2.3300	-79.5500	77.80	4.3	Md	87
2005/11/05	4:10:00	-2.0822	-80.3596	16.13	5.1	MwHRV	176
2005/11/09	6:33:00	-1.2900	-76.6300	260.00	5.9	MwGS	316
2005/11/09	6:33:00	-1.2900	-76.6300	260.00	5.9	MwGS	316
2005/12/12	16:07:00	-1.8494	-79.9408	24.68	4.3	mbGS	156
2005/12/23	16:47:00	-1.7782	-77.8919	270.94	6.1	MwGS	173
2006/01/28	18:51:00	-3.0144	-79.4202	13.95	4.1	Md	50
2006/06/26	14:37:00	-2.9050	-79.6591	10.00	4.9	MwHRV	74
2006/06/27	8:40:00	-2.9971	-79.6757	18.71	4.9	mbGS	77
2006/06/27	8:45:08	-2.9939	-79.6686	20.03	4.2	Md	76
2006/10/31	4:55:00	-1.0222	-77.9025	175.66	5.4	MwGCMT	239
2007/02/13	9:56:54	-1.2219	-77.7986	186.20	5.6	MwGCMT	226
2007/02/23	9:27:53	-1.6703	-77.9271	162.79	5.0	MwGCMT	179
2007/03/28	15:57:00	-1.2096	-77.6688	194.32	5.3	MwGCMT	236
2007/07/27	14:08:00	-2.4083	-80.3479	42.71	4.0	Md	160
2010/05/18	23:15:00	-5.0700	-77.5400	140.00	6.0	MwUCMT	291
2010/06/09	0:55:48	-2.4002	-79.4766	137.26	4.0	Md	76



Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2010/08/03	0:32:18	-2.5604	-79.7064	100.66	4.3	mbGS	87
2010/08/12	6:54:00	-0.7000	-77.3000	211.00	7.1	MwUCMT	306
2010/09/05	20:04:00	-2.9875	-79.8705	54.95	3.8	Md	98
2010/09/11	13:55:00	-4.2400	-80.5800	61.00	5.1	mbGS	232
2010/11/22	5:24:00	-2.6953	-79.4461	77.66	4.3	mbGS	55
2011/01/12	7:20:34	-3.1010	-79.4313	51.51	4.1	mbGS	55
2011/04/20	17:28:23	-3.9100	-79.6675	92.10	4.7	mbGS	136
2011/08/14	21:53:52	-2.0363	-77.1053	229.12	5.7	MwWCMT	230
2011/08/18	0:23:44	-2.9400	-79.9700	32.00	4.6	mbGS	109
2011/08/24	12:47:14	-3.2154	-79.4954	81.61	3.7	Md	67
2011/09/01	22:46:41	-3.5283	-79.8703	75.16	4.9	mbGS	121
2011/10/29	15:45:48	-2.4789	-79.1875	6.96	4.6	MB	50
2012/04/02	22:07:27	-5.0965	-82.3842	75.00	5.0	Md	450
2012/04/28	19:43:20	-2.2065	-79.8668	45.54	4.7	MB	123
2012/08/30	17:57:05	-3.0080	-79.4260	82.40	4.6	MB	50
2012/09/23	0:49:00	-3.3266	-79.4724	88.65	3.9	Md	73
2012/09/30	11:31:00	1.7373	-78.3207	33.33	5.2	Md	516
2012/10/27	23:13:00	-2.0100	-80.1000	30.04	4.7	MB	156
2013/02/09	9:16:00	0.9794	-78.5279	27.46	4.7	Md	430
2013/04/09	19:52:00	-2.0037	-79.6431	43.31	4.5	MB	121
2013/06/12	14:58:12	-1.1009	-79.1332	28.81	4.8	MB	198
2013/07/11	18:08:14	-2.3164	-79.1619	18.38	4.1	Md	65
2013/09/14	12:00:05	-2.0259	-79.0155	104.07	4.5	MB	95
2014/01/26	0:10:17	-4.0229	-81.9026	63.78	5.5	M	347
2014/03/14	15:54:54	-1.9242	-79.9082	39.55	4.8	M	147
2014/03/15	18:52:43	-5.3461	-81.4355	107.67	4.8	Md	385
2014/03/22	10:47:54	-2.7245	-79.4977	62.80	4.2	MB	59
2014/03/25	4:56:50	-2.2544	-79.2937	10.87	5.3	M	77
2015/03/27	16:59:31	-1.1500	-78.3100	249.30	4.5	Md	206
2015/04/28	6:21:00	-1.9300	-79.7900	75.49	4.6	Md	138
2015/11/17	1:16:26	-2.1296	-79.5740	72.26	4.4	Md	105
2015/12/19	7:07:44	-2.8869	-79.3577	66.10	4.5	Md	41
2016/01/02	10:02:09	-1.6445	-79.4737	64.34	4.3	Md	147
2016/03/05	19:54:44	-1.1268	-79.7356	36.82	4.4	Md	211
2016/04/16	18:58:00	0.3529	-79.9250	21.00	7.8	Mw	372
2016/04/17	2:13:57	-0.3911	-80.2004	23.00	6.0	Mwc	306
2016/04/21	22:03:39	-0.3020	-80.4980	10.00	6.2	Mwb	331
2016/04/22	8:26:17	-2.5900	-80.1400	36.20	4.5	Md	132
2016/05/18	2:59:00	0.4261	-79.7899	16.00	6.7	Mw	376
2016/05/18	11:49:00	0.4947	-79.6160	30.00	6.9	Mw	380
2016/05/24	11:35:19	-2.7530	-79.0247	101.98	4.7	Md	15



Tabla 11. Eventos registrados en la estación CHANLUD BASE

ACELEROGRAMAS REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN: CHANLUD BASE							
Ubicación:		Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (msnm)			
		-2.67	-79.04	3350			
Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
1998/08/04	13:59:53	-0.7700	-80.3800	50.00	7.1	Mw	258
1998/09/16	6:29:00	-3.3322	-79.4900	53.54	4.9	mb	88
2003/06/03	7:18:37	-2.4307	-79.2924	91.54	4.4	mbGS	39
2003/06/19	17:50:04	-2.1628	-79.2939	109.05	4.1	Md	63
2003/07/14	11:34:41	-2.3725	-79.1514	9.11	3.8	Md	36
2003/09/01	18:20:45	-3.4537	-78.8361	91.05	5.1	Md	89
2003/09/20	0:19:18	-2.7100	-79.6100	11.13	4.5	mbGS	64
2004/08/13	21:44:39	-2.3059	-78.8809	105.12	3.8	mbGS	44
2005/10/12	14:35:28	-2.2000	-78.1600	15.00	4.3	Md	111
2005/11/09	6:33:03	-1.2900	-76.6300	260.00	5.9	MwGS	309
2005/11/09	6:33:03	-1.2900	-76.6300	260.00	5.9	MwGS	309
2006/01/19	1:56:05	-1.9776	-78.0169	107.58	4.2	Md	137
2006/06/21	7:40:40	-2.1552	-77.2779	199.44	5.3	MwHRV	204
2006/06/27	8:40:58	-2.9971	-79.6757	18.71	4.9	mbGS	79
2006/08/05	5:21:09	-2.7200	-77.6900	51.05	4.1	Md	150
2006/08/11	0:19:43	-1.9900	-75.8500	51.06	4.3	Md	363
2016/04/16	18:58:00	0.3529	-79.9250	21.00	7.8	Mw	349
2016/04/21	22:03:00	-0.3020	-80.4980	10.00	6.2	Mwb	308
2016/04/22	8:26:00	-2.5900	-80.1400	36.20	4.5	Md	123
2016/04/29	18:42:00	-2.5456	-79.2120	27.27	4.0	Md	24
2016/05/18	2:59:00	0.4261	-79.7899	16.00	6.7	Mw	353
2016/05/18	11:49:00	0.4947	-79.6160	30.00	6.9	Mw	356
2016/05/19	20:21:00	-2.5845	-79.3002	25.08	3.9	Md	31
2016/05/24	11:35:00	-2.7530	-79.0247	101.98	4.7	Md	9
2016/06/26	23:15:00	-2.8782	-79.7858	56.75	4.4	Md	86
2016/07/10	21:01:00	-1.6691	-76.3791	61.93	4.6	Md	316
2016/07/10	21:11:00	0.4229	-77.2372	113.40	4.7	Md	397
2016/09/01	8:35:00	-2.2800	-79.1800	7.00	4.1	Mb	46
2016/09/10	5:08:00	-5.5828	-76.9650	114.40	6.0	MB	396

Tabla 12. Eventos registrados en la estación PRESA DANIEL PALACIOS BASE

ACELEROGRAMAS REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN: PRESA D.P.-BASE							
Ubicación:		Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (msnm)			
		-2.60	-78.56	1835			
Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2005/09/29	22:58:12	-2.8400	-78.4800	10.00	4.0	Md	29
2005/09/30	0:34:56	-3.2600	-77.8900	16.22	4.1	Md	105
2005/09/30	4:47:34	-2.8700	-78.5000	10.00	3.8	Md	31
2005/10/01	8:38:41	-2.8816	-78.5614	30.08	3.7	Md	32
2005/10/01	15:57:09	-2.8997	-78.8070	40.22	3.6	Md	43
2005/10/03	4:47:52	-2.8993	-78.4270	18.84	3.6	Md	37
2005/10/12	14:43:21	-2.2000	-78.1600	15.00	4.3	Md	63
2005/10/27	8:04:05	-4.0381	-77.9780	104.11	4.2	Md	172
2005/11/01	14:17:00	-3.2017	-78.8981	174.64	3.9	Md	77



Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2005/11/05	4:21:47	-2.0822	-80.3596	16.13	5.1	MwHRV	207
2005/11/07	13:55:13	-3.2028	-78.8888	59.93	3.8	Md	76
2005/11/09	6:33:00	-1.2900	-76.6300	260.00	5.9	MwGS	259
2005/11/11	14:21:23	-4.0100	-76.9500	51.49	4.8	MwHRV	238
2005/11/24	18:56:46	-2.3675	-76.8629	39.18	4.2	mbGS	191
2005/11/28	19:52:00	-2.7600	-78.4500	12.76	3.7	Md	22
2005/12/12	16:18:30	-1.8494	-79.9408	24.68	4.3	mbGS	174
2005/12/21	15:51:57	-2.8500	-77.4800	15.00	4.1	Md	124
2005/12/21	16:41:13	-2.7100	-78.5000	10.00	3.7	Md	15
2005/12/23	16:58:24	-1.7782	-77.8919	270.94	6.1	MwGS	117
2006/01/19	1:56:00	-1.9776	-78.0169	107.58	4.2	Md	92
2006/10/06	18:56:03	-3.8240	-78.2441	90.48	4.3	Md	140
2006/11/21	19:49:35	-2.6300	-78.4000	10.00	3.7	Md	19
2006/11/23	14:46:00	-3.2600	-77.3400	50.72	4.1	Md	155
2006/11/28	20:05:00	-2.7100	-78.6300	10.00	3.6	Md	15
2006/12/08	19:42:41	-2.6200	-78.4300	10.00	3.8	Md	15
2007/02/24	7:58:24	-2.8000	-78.2900	15.01	3.8	Md	38
2007/03/24	20:44:46	-2.7400	-77.9600	15.16	4.0	Md	69
2007/09/26	0:43:00	-3.3800	-76.9000	50.07	4.2	Md	204
2007/10/13	14:31:00	-2.6327	-77.8794	17.13	4.1	Md	76
2008/01/26	8:19:00	-3.1500	-77.8100	10.00	4.0	Md	104
2011/06/24	6:47:38	-2.3700	-79.0100	12.89	3.8	Md	55
2011/07/26	15:58:20	-3.0173	-76.5839	122.89	5.2	mbGS	225
2011/08/14	21:54:21	-2.0363	-77.1053	229.12	5.7	MwWCMT	174
2011/08/17	17:35:32	-2.1452	-77.7580	97.60	4.1	Md	103
2011/09/13	2:28:18	-2.5830	-77.8245	42.45	4.0	Md	82
2011/10/13	3:27:55	-1.9865	-79.0066	10.58	4.0	Md	83
2011/10/29	15:45:22	-2.4789	-79.1875	6.96	4.6	MB	70
2011/11/09	13:22:58	-4.5849	-77.6041	67.92	4.6	Md	245
2011/12/29	14:51:00	-3.6467	-77.5989	158.93	4.3	Md	158
2012/02/06	13:04:10	-2.8126	-77.9154	17.42	4.0	Md	76
2012/02/06	21:18:07	-3.6080	-77.3430	41.70	4.7	MB	176
2012/03/06	13:14:39	-2.7944	-77.8584	93.01	4.5	MB	82
2012/03/21	18:50:10	-2.8500	-77.8900	23.28	4.0	Md	80
2012/03/31	13:52:00	-2.1347	-78.4609	27.44	3.8	Md	52
2012/04/28	19:45:42	-2.2065	-79.8668	45.54	4.7	MB	151
2012/04/30	12:22:50	-1.5429	-77.7959	21.71	4.5	MB	144
2012/05/01	3:33:48	-2.7100	-78.4500	11.00	3.6	Md	18
2012/05/02	22:22:49	-2.5643	-77.8723	44.94	3.9	Md	77
2012/06/15	19:19:39	-1.9000	-76.5100	50.26	4.8	MB	241
2012/06/18	8:34:46	-1.0400	-79.2500	24.26	4.9	MB	188
2012/07/03	8:47:00	-3.4299	-77.1615	27.25	4.6	Md	181
2012/07/07	5:08:00	-2.3200	-78.0100	50.06	3.9	Md	69
2012/10/22	7:56:00	-2.5900	-77.9400	12.47	4.4	MB	69
2012/10/27	23:13:00	-2.0100	-80.1000	30.04	4.7	MB	183
2012/11/05	13:04:00	-2.5185	-77.8963	26.35	4.6	MB	75
2013/02/21	1:57:10	-2.6100	-78.0500	7.74	4.0	Md	57
2013/02/27	10:56:14	-3.0294	-78.5473	106.25	4.5	MB	48
2013/03/19	13:56:00	-3.2469	-78.6067	36.29	3.8	Md	72
2013/03/19	16:54:00	-2.4854	-78.8224	72.01	3.7	Md	31



Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2013/03/19	20:46:00	-2.4293	-78.7595	46.39	3.8	Md	28
2013/03/19	22:08:00	-2.6500	-78.5000	10.00	3.9	Md	9
2013/04/09	19:54:00	-2.0037	-79.6431	43.31	4.5	MB	137
2013/04/17	16:02:00	-2.8000	-77.8800	30.21	4.1	Md	79
2013/05/12	8:15:00	-2.9008	-77.9190	27.53	4.6	MB	79
2013/05/17	2:48:00	-1.7500	-78.9000	38.63	4.2	Md	101
2013/05/21	13:37:00	-3.2000	-78.3400	254.22	4.0	Md	71
2013/07/10	6:07:00	-2.8205	-78.7147	89.56	3.7	Md	30
2013/07/11	18:09:00	-2.3164	-79.1619	18.38	4.1	Md	73
2013/08/16	0:31:00	-2.7700	-78.5200	15.00	4.0	MB	20
2013/08/19	16:04:00	-2.7965	-78.4403	9.71	3.9	Md	26
2013/08/29	18:58:00	-2.0584	-78.9580	13.30	4.1	Md	74
2013/09/11	4:55:00	-1.8300	-78.9400	15.95	4.0	Md	94
2013/09/21	9:06:00	-3.1561	-77.8379	36.14	4.1	Md	102
2013/09/25	12:16:00	-2.3852	-79.3416	73.45	3.7	Md	89
2013/11/25	11:42:00	-2.6600	-78.0100	60.21	4.0	Md	62
2013/11/30	11:42:00	-2.6177	-77.3154	125.88	4.8	MB	139
2016/01/02	10:02:09	-1.6445	-79.4737	64.34	4.3	Md	146
2016/01/25	3:08:25	-2.6561	-78.4710	29.03	3.7	Md	12
2016/03/05	19:54:44	-1.1268	-79.7356	36.82	4.4	Md	208
2016/03/10	11:31:23	-2.2500	-78.9600	3.00	4.0	Md	58
2016/03/26	3:27:08	-2.6100	-77.8800	50.43	4.0	Md	76
2016/04/09	2:15:06	-3.4070	-77.4487	137.44	4.5	Md	153
2016/04/09	6:26:45	-2.1200	-77.7300	16.41	4.4	Md	107
2016/04/16	18:58:00	0.3529	-79.9250	21.00	7.8	Mw	359
2016/04/17	2:13:57	-0.3911	-80.2004	23.00	6.0	Mwc	304
2016/04/17	22:25:43	-2.5788	-78.6769	29.13	3.7	Md	13
2016/04/21	22:03:39	-0.3020	-80.4980	10.00	6.2	Mw	332
2016/04/22	8:26:17	-2.5900	-80.1400	36.20	4.5	Md	175
2016/04/29	18:42:22	-2.5456	-79.2120	27.27	4.0	Md	72
2016/05/06	0:21:42	-2.6100	-77.8900	52.14	4.2	Md	75
2016/05/18	2:59:00	0.4261	-79.7899	16.00	6.7	Mw	361
2016/05/18	11:49:00	0.4947	-79.6160	30.00	6.9	Mw	361
2016/05/24	11:35:19	-2.7530	-79.0247	101.98	4.7	Md	54

Tabla 13. Eventos registrados en la estación PRESA MAZAR BASE

ACELEROGRAMAS REGISTRADOS EN LA ESTACIÓN: MAZAR-BASE							
Ubicación:		Lat. (°)	Long. (°)	Alt. (msnm)			
		-2.59	-78.62	2120			
Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			
2016/01/02	10:02:09	-1.6445	-79.4737	64.34	4.3	Md	141
2016/01/25	3:08:25	-2.6561	-78.4710	29.03	3.7	Md	18
2016/03/05	19:54:44	-1.1268	-79.7356	36.82	4.4	Md	204
2016/03/10	11:31:23	-2.2500	-78.9600	3.00	4.0	Md	53
2016/03/25	21:17:46	-2.4471	-79.9397	46.70	4.1	Md	147
2016/03/26	3:27:08	-2.6100	-77.8800	50.43	4.0	Md	83
2016/04/09	2:15:06	-3.4070	-77.4487	137.44	4.5	Md	158
2016/04/09	6:26:45	-2.1200	-77.7300	16.41	4.4	Md	112



Fecha	Hora Local	Latitud.	Longitud.	Prof.	Mag.	Unidad	Distancia Epicentral
aaaa/mm/dd	HH:MM:SS	(°)	(°)	(km.)			(km.)
2016/04/16	18:58:00	0.3529	-79.9250	21.00	7.8	Mw	357
2016/04/17	2:13:57	-0.3911	-80.2004	23.00	6.0	Mwc	300
2016/04/17	22:25:43	-2.5788	-78.6769	29.13	3.7	Md	6
2016/04/21	22:03:39	-0.3020	-80.4980	10.00	6.2	Mwb	328
2016/04/22	8:26:17	-2.5900	-80.1400	36.20	4.5	Md	169
2016/04/29	18:42:22	-2.5456	-79.2120	27.27	4.0	Md	66
2016/05/18	2:59:00	0.4261	-79.7899	16.00	6.7	Mw	358
2016/05/18	11:49:00	0.4947	-79.6160	30.00	6.9	Mw	359
2016/05/20	20:22:37	-1.8135	-77.7538	3.81	4.3	Md	130
2016/05/24	11:35:19	-2.7530	-79.0247	101.98	4.7	Md	48
2016/06/03	8:45:18	-2.3429	-79.3750	195.60	4.3	Md	88
2016/06/08	15:18:23	-4.2304	-77.9183	297.06	4.8	Md	197
2016/06/24	20:39:42	-2.3985	-78.8320	55.91	3.6	Md	32
2016/06/26	23:15:45	-2.8782	-79.7858	56.75	4.4	Md	133
2016/06/28	16:25:46	-4.1814	-79.0597	66.02	4.1	Md	182
2016/07/10	21:01:20	-1.6691	-76.3791	61.93	4.6	Md	270
2016/07/10	21:11:02	0.4229	-77.2372	113.40	4.7	Md	367
2016/08/05	2:23:05	-1.9100	-77.6000	10.00	4.0	Mb	137
2016/08/13	3:22:56	-2.4960	-79.1993	292.53	4.2	Md	65
2016/08/31	5:15:25	-2.7383	-78.7943	3.57	3.8	Md	25
2016/09/01	8:35:15	-2.2800	-79.1800	7.00	4.1	Mb	71
2016/09/09	14:14:00	-2.9000	-78.8100	77.00	3.0	Mb	40
2016/09/10	5:08:19	-5.5828	-76.9650	114.40	6.0	MB	378
2016/09/11	14:59:07	-2.7200	-77.6400	108.00	4.8	Mb	110
2016/09/26	14:17:24	-2.1987	-78.0614	43.80	4.0	Md	76

3.2.3 Normalización de espectros: factores y gráficas

Se da por entendido, que los espectros acelerográficos obtenidos de una estación, de diferentes eventos sísmicos, no tienen los mismos valores. Cada espectro depende de la distancia epicentral, tipo de suelo, profundidad y magnitud. Por lo tanto, es necesario utilizar registros que representen al sismo de diseño, pues existen registros de eventos muy lejanos, profundos o de baja magnitud que no representan exactamente al sismo de diseño. Esta situación nos lleva a filtrar la información y proceder a escalarlos.

Dentro del proceso de filtrado, se dividieron los eventos con distancias epicentrales mayores a 100km y los microsismos, eventos con profundidades mayores a 100km y magnitudes menores a 4Mb.

Para poder estandarizar la información y que todos los espectros se muestren en una misma escala, es necesario obtener el valor del PGA de cada acelerograma, valor máximo absoluto de la aceleración o también denominado como aceleración pico del



suelo. Este valor es la aceleración del espectro donde el periodo de vibración es igual a cero. Por lo tanto, cada espectro es dividido por el PGA de su acelerograma. Esto hace que todos los espectros tengan una aceleración igual a uno en el periodo de vibración igual a cero.

Con los espectros a escalas iguales, espectros denominamos normalizados, es posible realizar entonces las comparaciones de las formas espectrales de cada estación con las de las normas.

Se puede observar que el orden de presentación de la información es el siguiente: primero los espectros de las estaciones que se encuentran en la Ciudad de Cuenca (Universidad de Cuenca, Registro Civil y Miraflores) y luego los espectros de las estaciones que están en roca (Chanlud Base, Presa D.P. y Presa Mazar).

Se muestran las gráficas de todos los espectros obtenidos de cada estación y luego los espectros separados en función de la distancia epicentral (espectros de eventos que tienen distancia epicentral menor igual a 100km y los mayores a 100km).

Gráfico 6. Espectros normalizados de la estación: Universidad de Cuenca

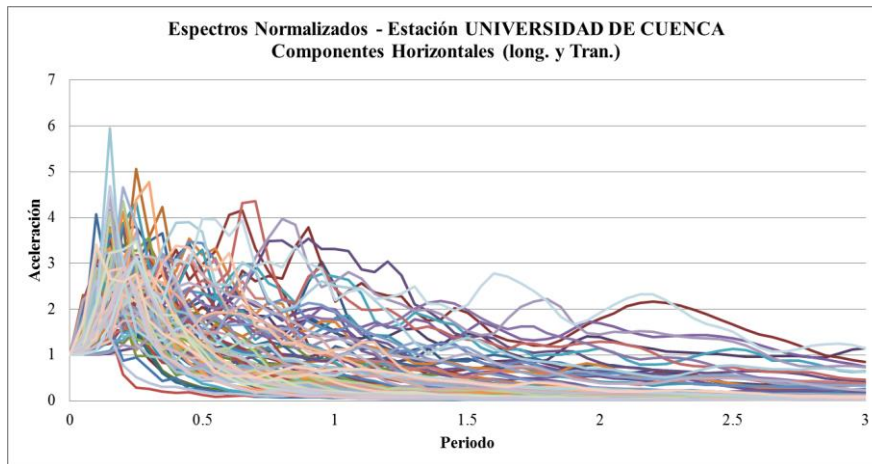


Gráfico 7. Espectros normalizados de la estación: Universidad de Cuenca, de eventos con epicentro ≤ 100 km

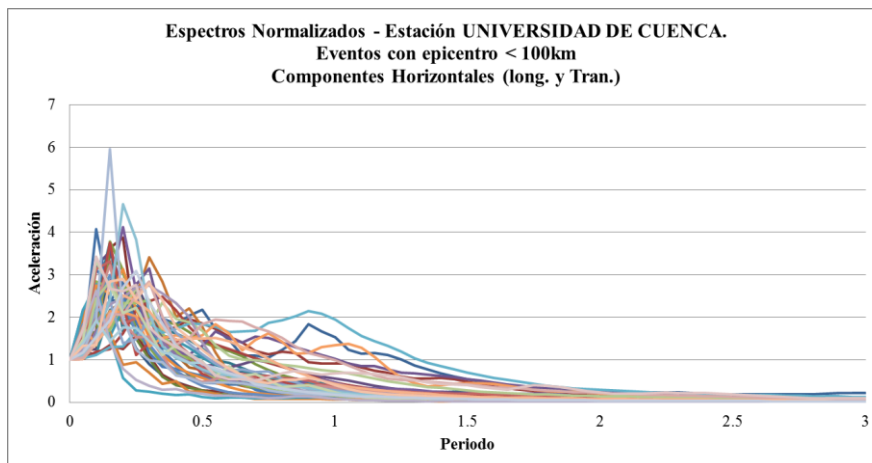
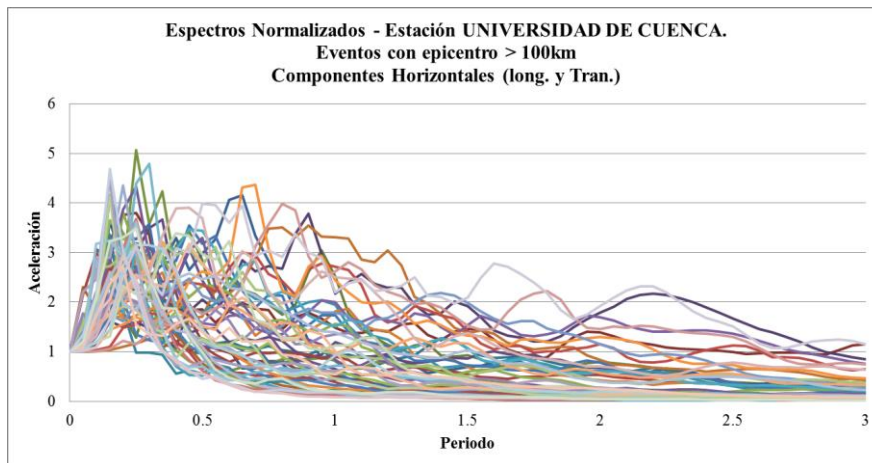


Gráfico 8. Espectros normalizados de la estación: Universidad de Cuenca, de eventos con epicentro > 100 km



Fuente: RSA

Monografía: Ing. Henry Bermeo M.

Gráfico 9. Espectros normalizados de la estación: Registro Civil

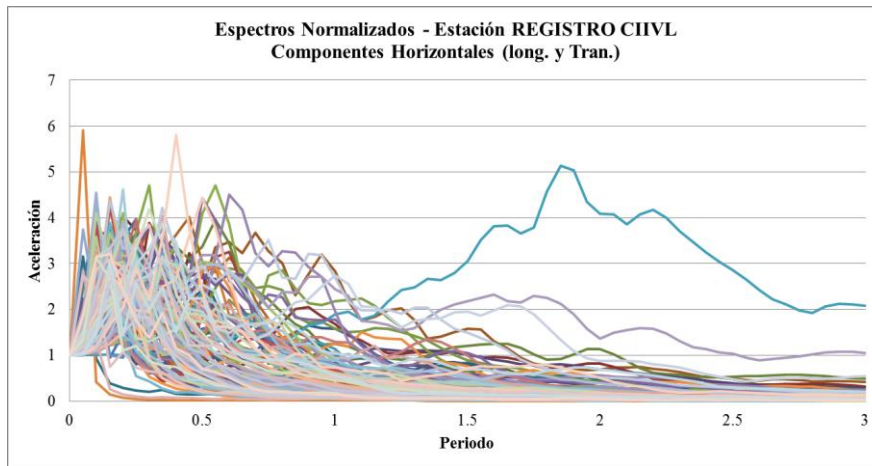


Gráfico 10. Espectros normalizados de la estación: Registro Civil, de eventos con epicentro ≤ 100 km

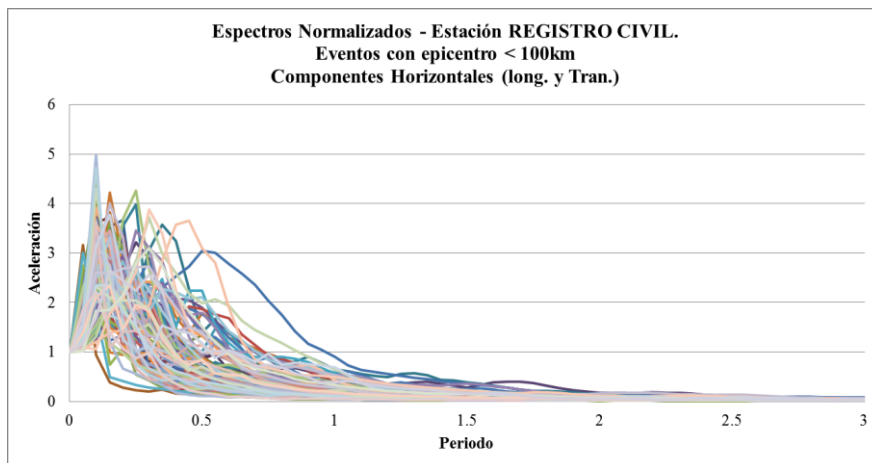
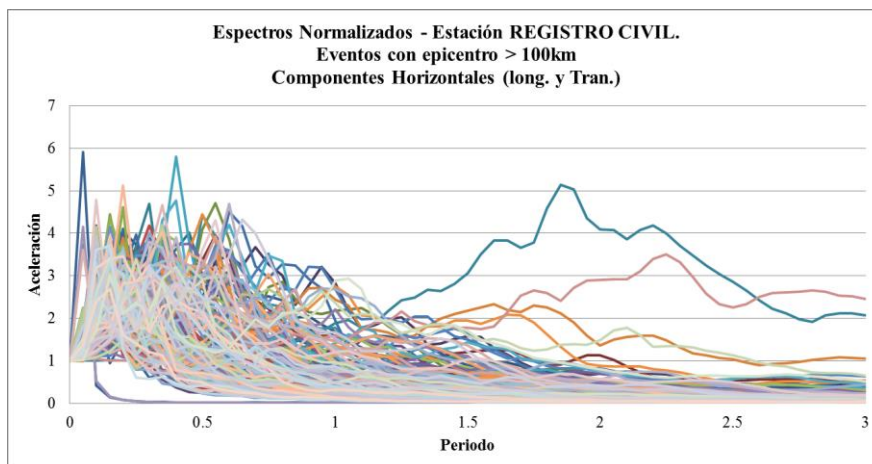


Gráfico 11. Espectros normalizados de la estación: Registro Civil, de eventos con epicentro > 100 km



Fuente: RSA

Monografía: Ing. Henry Bermeo M.

Gráfico 12. Espectros normalizados de la estación: Miraflores

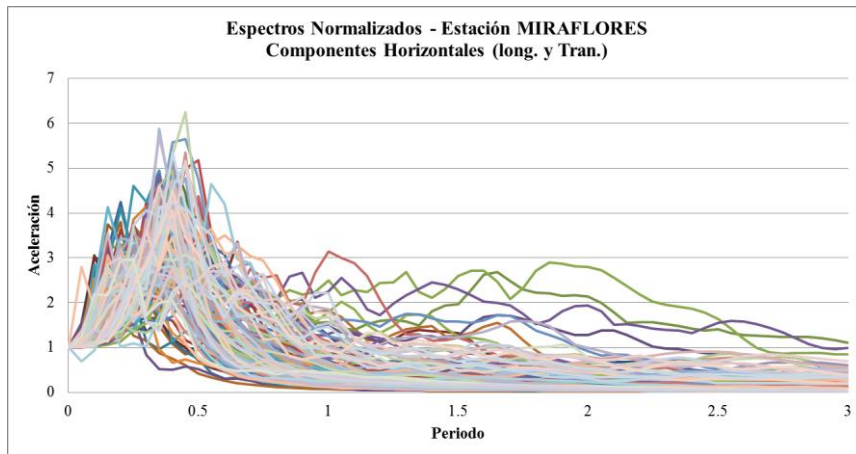


Gráfico 13. Espectros normalizados de la estación: Miraflores, de eventos con epicentro ≤ 100 km

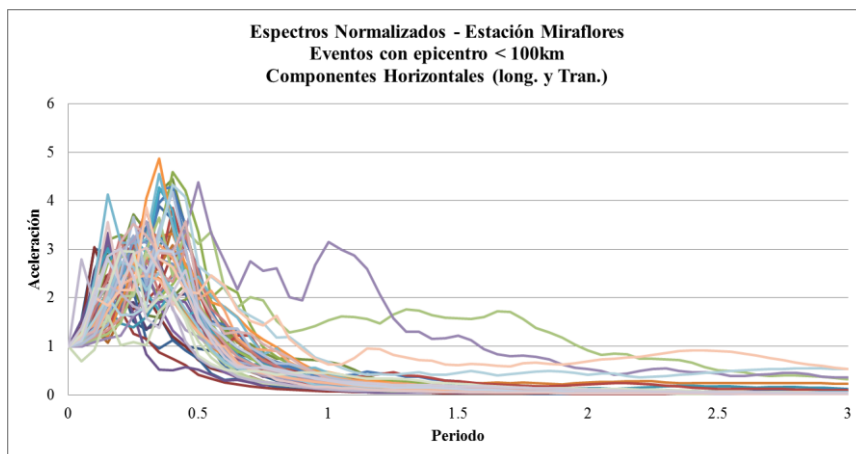
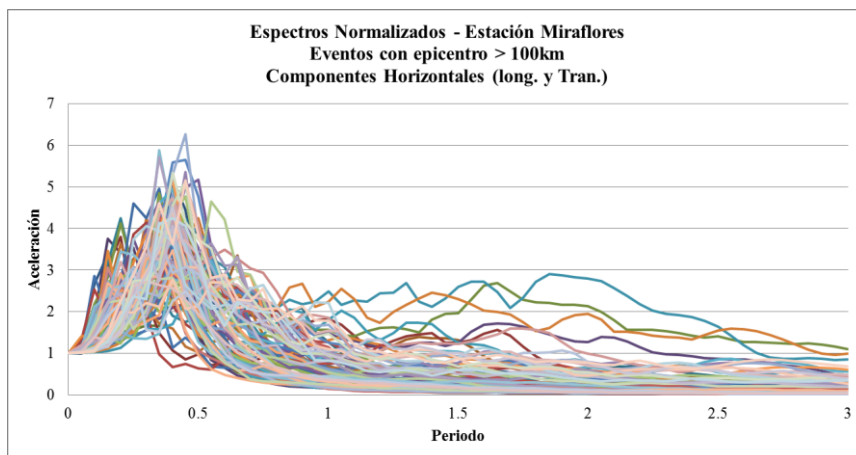


Gráfico 14. Espectros normalizados de la estación: Miraflores, de eventos con epicentro > 100 km



Fuente: RSA

Monografía: Ing. Henry Bermeo M.

Gráfico 15. Espectros normalizados de la estación: CHANLUD BASE

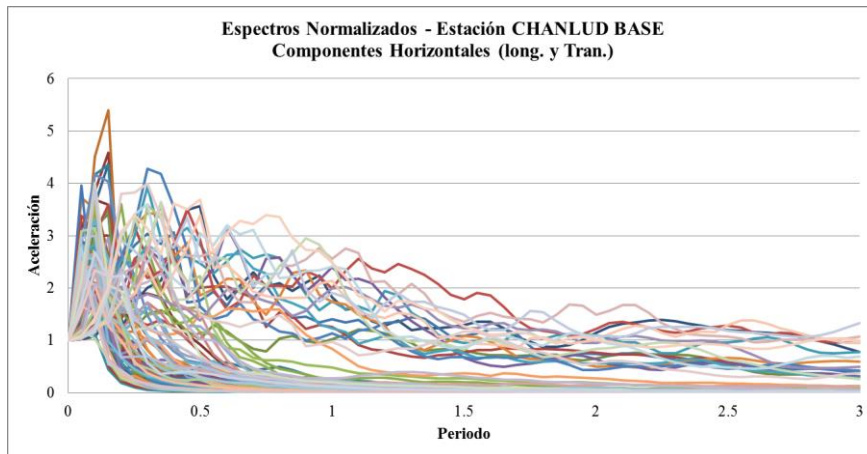


Gráfico 16. Espectros normalizados de la estación: CHANLUD BASE, de eventos con epicentro ≤ 100 km

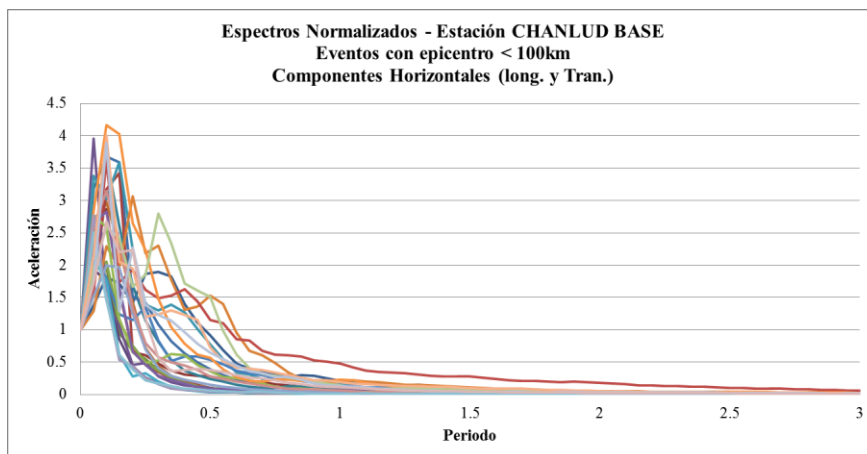
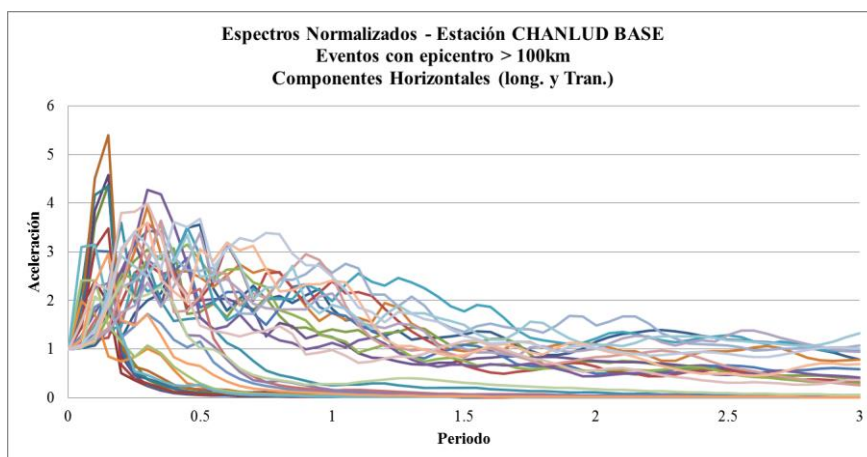


Gráfico 17. Espectros normalizados de la estación: CHANLUD BASE, de eventos con epicentro > 100 km



Fuente: RSA

Monografía: Ing. Henry Bermeo M.

Gráfico 18. Espectros normalizados de la estación: PRESA D.P. BASE

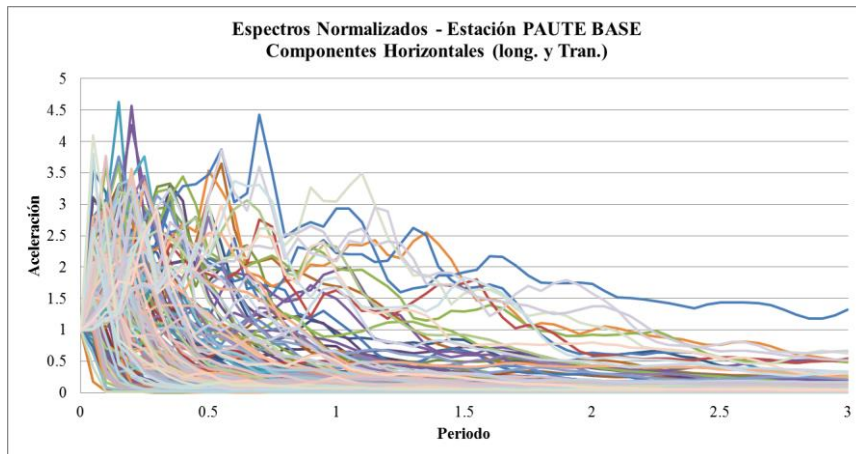


Gráfico 19. Espectros normalizados de la estación: PRESA D.P. BASE, de eventos con epicentro ≤ 100 km

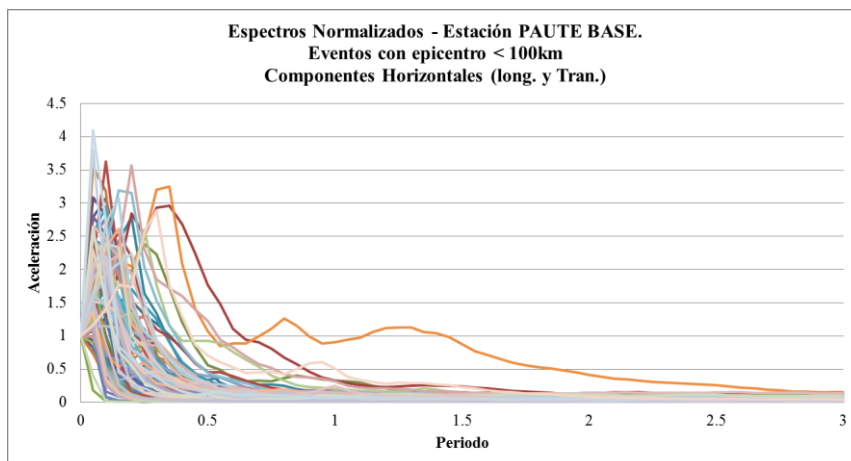
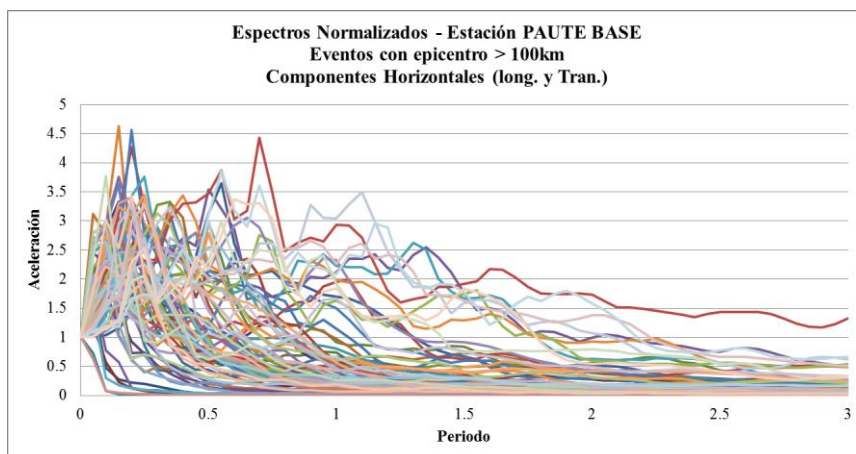


Gráfico 20. Espectros normalizados de la estación: PRESA D.P. BASE, de eventos con epicentro > 100 km



Fuente: RSA

Monografía: Ing. Henry Bermeo M.

Gráfico 21. Espectros normalizados de la estación: MAZAR BASE

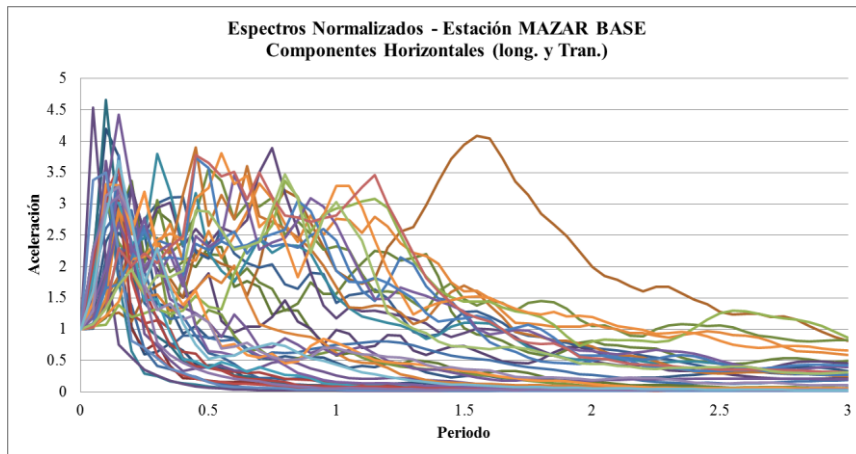


Gráfico 22. Espectros normalizados de la estación: MAZAR BASE, de eventos con epicentro ≤ 100 km

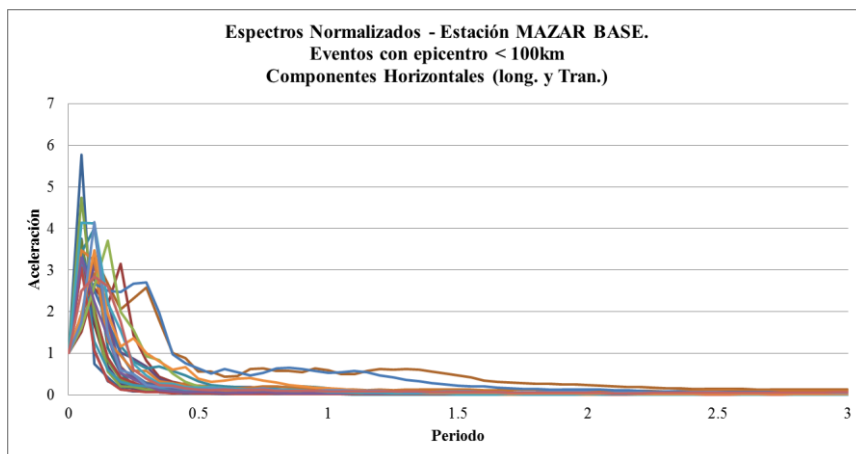
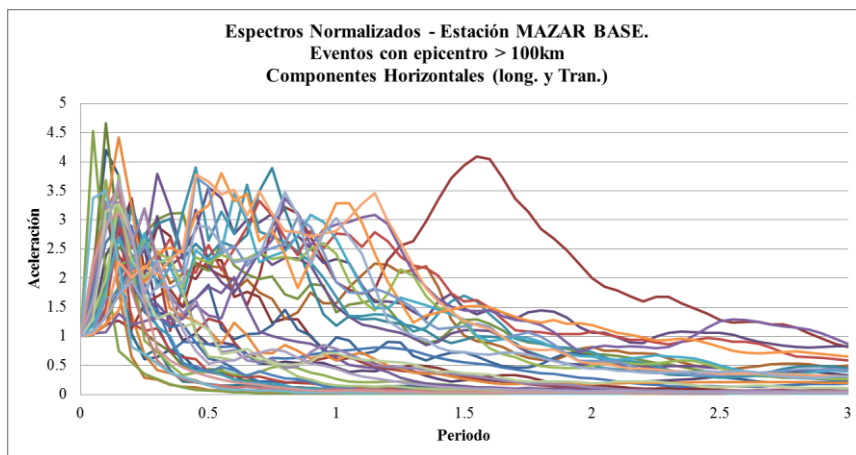


Gráfico 23. Espectros normalizados de la estación: MAZAR BASE, de eventos con epicentro > 100 km



Fuente: RSA

Monografía: Ing. Henry Bermeo M.



3.3 Información de espectros de Normas

Para la comparación de los espectros obtenidos, con los de la Norma (NEC-SE-DS), se realiza los procedimientos que la Norma indica. Sin embargo, cabe recalcar algunos conceptos básicos que se presentan a continuación.

“Sismo de Diseño. - Evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años (período de retorno de 475 años), determinado a partir de un análisis de la peligrosidad sísmica del sitio de emplazamiento de la estructura o a partir de un mapa de peligro sísmico.” (NEC-SE-DS)

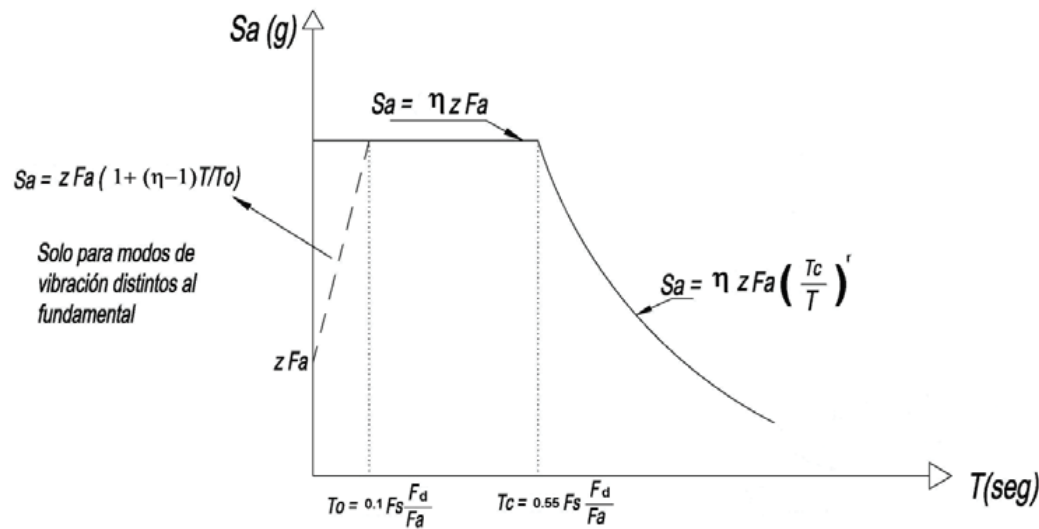
Para caracterizar el sismo de diseño, puede utilizarse un grupo de acelerogramas con propiedades dinámicas representativas de los ambientes tectónicos, geológicos y geotécnicos del sitio. Los efectos dinámicos del sismo de diseño pueden modelarse mediante un espectro de respuesta para diseño, como los que proporciona la norma.

“Espectro de respuesta para diseño. - El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura.

Es un espectro de tipo elástico para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño.” (NEC-SE-DS)

El Espectro elástico horizontal de diseño en aceleración según la norma NEC-SE-DS, se obtiene a partir de las expresiones que se muestran en la gráfica siguiente:

Gráfico 24. Espectro Elástico de aceleraciones S_a para el sismo de diseño de la NEC-SE-DS



Dónde:

- S_a Es el espectro de respuesta elástico de aceleraciones (Expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
- T Período fundamental de vibración de la estructura
- Z es el factor de zona sísmica. Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g .

F_a , F_d y F_s son los coeficientes de amplificación de suelo

- η Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
- r Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.
- T_0 Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
- T_c Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño

En el Apartado 3.1.2 de este documento, se presenta la clasificación de los suelos de la Norma. Para obtener los espectros de diseño, se consideran los suelos y parámetros que corresponden a la Ciudad de Cuenca.



Datos para la Ciudad de Cuenca:

Z = Zona Sísmica = II

Factor Z = 0.25g

$\eta = 2.48$ para provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

r = 1 Suelos tipo A, B, C, D

r = 1.5 Suelos tipo E

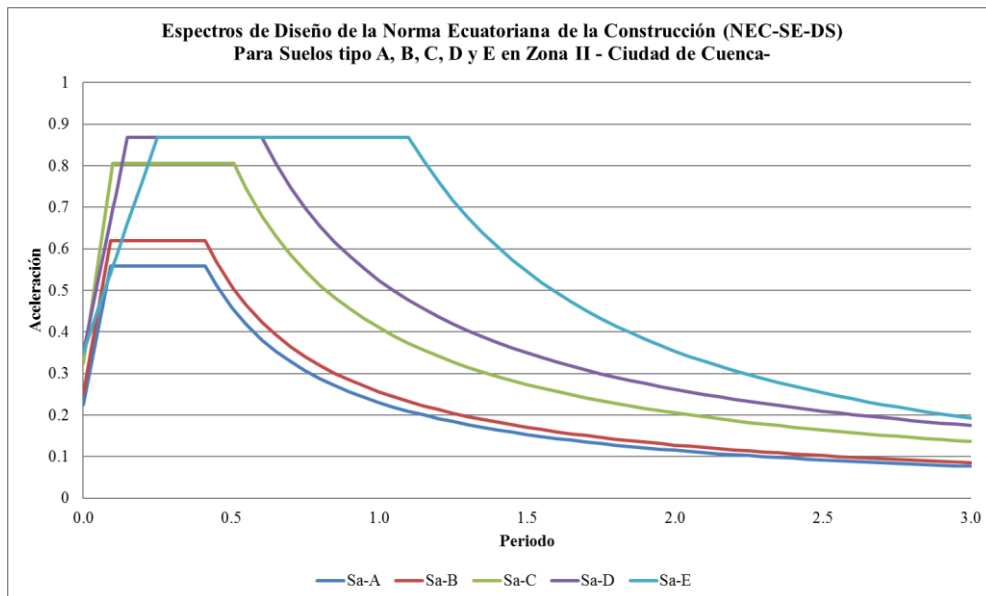
Tabla 14. Coeficientes de perfil de suelo Fa, Fd y Fs, para la ciudad de Cuenca (Zona II).

Tipo de Suelo	A	B	C	D	E
Fa =	0.90	1.00	1.30	1.40	1.40
Fd =	0.90	1.00	1.28	1.45	1.75
Fs =	0.75	0.75	0.94	1.06	1.60
To = 0.1*Fs*Fd/Fa	0.075	0.075	0.093	0.110	0.200
Tc = 0.55*Fs*Fd/Fa	0.4125	0.4125	0.5090	0.6038	1.1000

FUENTE: NEC-SE-DS

Reemplazando todos estos valores en las ecuaciones que se presentan en la gráfica del espectro, y calculando para una lista de periodos de vibración que van de 0 a 3sg, respetando los límites, se obtiene los espectros que se presentan en la siguiente gráfica.

Gráfico 25. Espectros de diseño de la NEC-SE-DS-2015 para la Ciudad de Cuenca

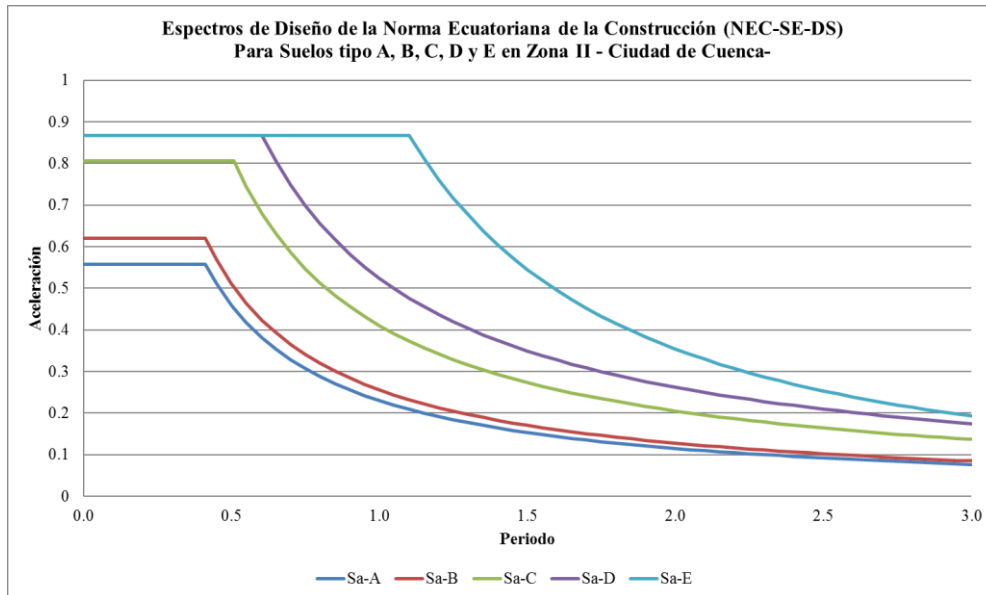


Fuente: NEC, elaborados en la RSA



Cabe recalcar que la línea inclinada al comienzo del espectro, es utilizada solo para modos de vibrar distintos al fundamental. Eliminando esta línea inclinada, los espectros resultarían de la siguiente forma:

Gráfico 26. Espectros de diseño de la NEC-SE-DS-2015 para la Ciudad de Cuenca Sin Pendiente inicial.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA



CAPITULO 4

4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Comparación de espectros – gráficos

De los espectros normalizados presentados en el capítulo anterior, se pudieron dividir los espectros de eventos cercanos y lejanos. Entre estos grupos de espectros, se puede diferenciar que la rama descendente promedio de los sismos cercanos empieza en periodos de vibración bajos, y para los sismos lejanos empieza en periodos de vibración más altos. Tómese en cuenta que los sismos cercanos a la estación son los que más pueden producir daño a las estructuras si la magnitud aumenta, por lo tanto, su forma espectral sería la representativa para el sismo de diseño. Si utilizamos los espectros de eventos lejanos, posiblemente el espectro de diseño que se obtendría, estaría exagerando para periodos de vibración alta.

Para comparar un grupo de espectros con el espectro normado, se debe obtener la envolvente de todos los espectros, el espectro promedio y el espectro promedio más la desviación estándar. De esta manera se hace más visible la comparación de espectros para el análisis respectivo.

Trabajar con el espectro medio significa que la probabilidad de excedencia de las ordenadas espectrales es del 50%. Si se desea disminuir la probabilidad de excedencia a la curva de valores medios, se le deberá sumar la desviación estándar o más, dependiendo de la probabilidad de excedencia con la cual se quiera trabajar.

La obtención de estos espectros se describe en las siguientes líneas.

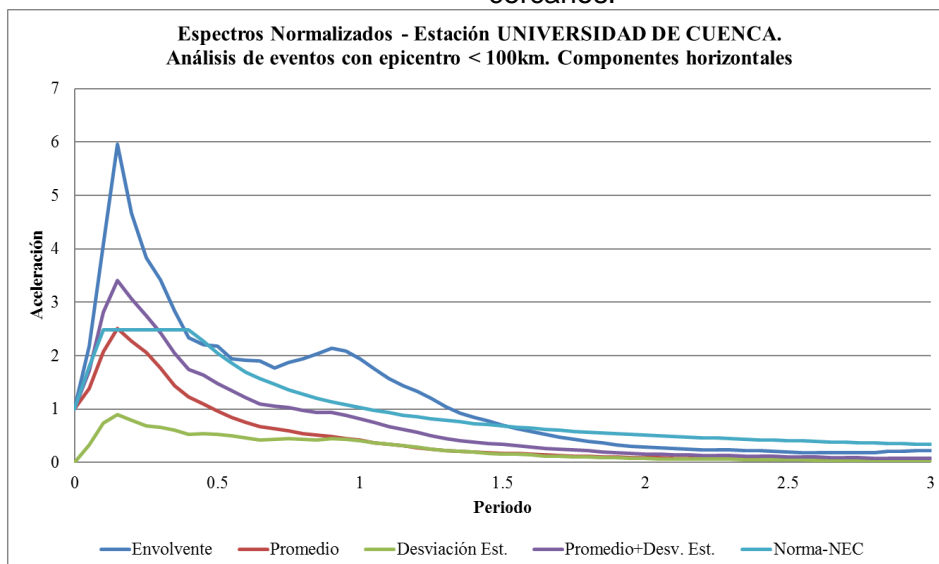
- Espectro envolvente. - consiste en tomar el valor máximo de todos los espectros obtenidos en la estación, para cada periodo de vibración. Este me daría una probabilidad de excedencia del 0%.
- Espectro promedio. - consiste en calcular el promedio de los valores espectrales de cada periodo de vibración.
- Espectro promedio más la desviación estándar. – consiste en obtener la desviación estándar del grupo de valores espectrales para cada periodo de vibración; a éste se le suma el espectro promedio.

En las siguientes gráficas se pueden visualizar los espectros representativos de los sismos procesados con los espectros normados. Para un mayor análisis, se presentan

gráficas con eventos cercanos (distancia Ep. ≤ 100 km) y gráficas con eventos lejanos (distancia Ep. > 100 km).

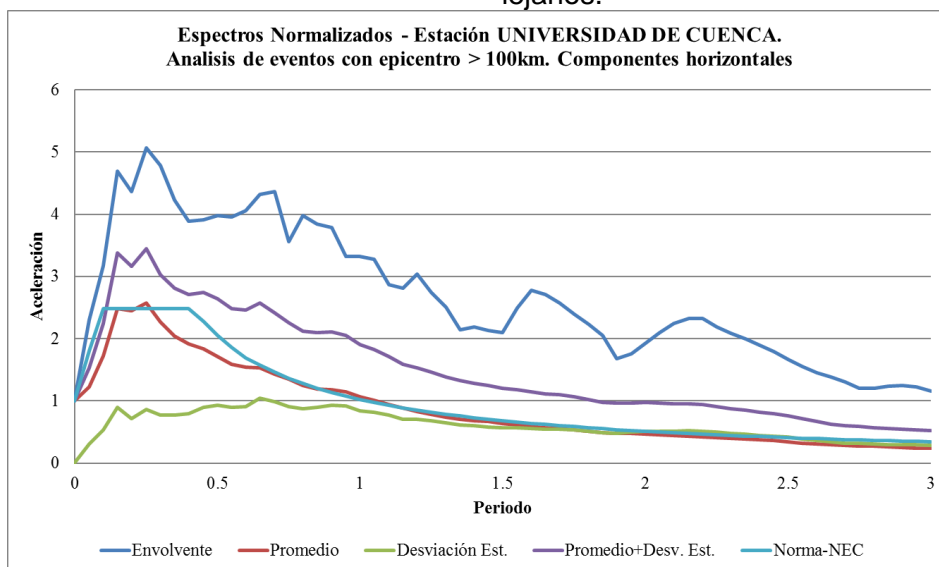
4.1.1 Gráficas de espectros elásticos

Gráfico 27. Comparación de espectros. Estación Universidad de Cuenca. Eventos cercanos.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA

Gráfico 28. Comparación de espectros. Estación Universidad de Cuenca. Eventos lejanos.

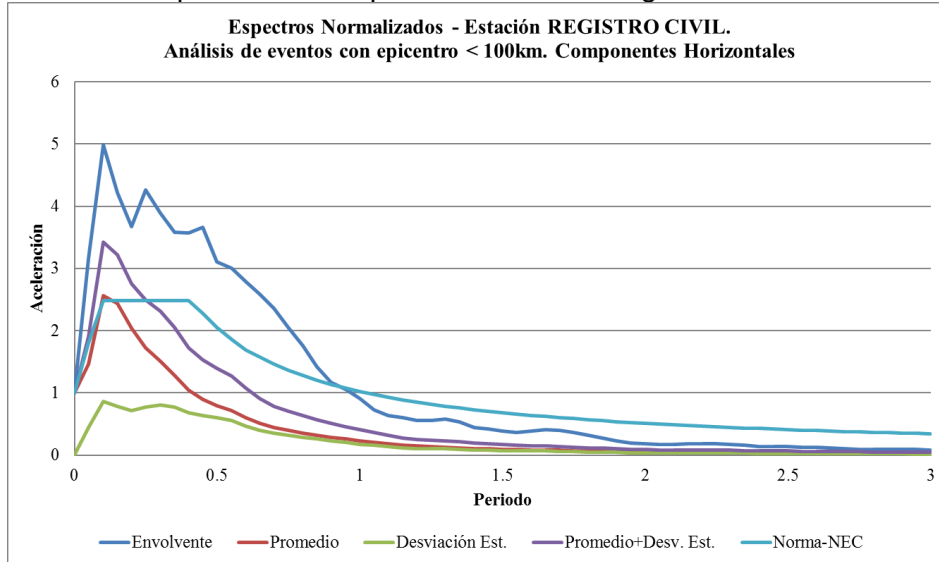


Fuente: NEC, elaborados en la RSA

La estación de la Universidad de Cuenca se ubica en un suelo de tipo "B". Se puede observar que el espectro de diseño de la norma NEC cubre al espectro promedio para los eventos cercanos, pero sobresalen los picos del promedio+desviación estándar para periodos de vibración que están entre 0.1sg y 0.4sg. En la gráfica de los espectros de eventos lejanos, el espectro de la norma NEC cubre al promedio, pero la

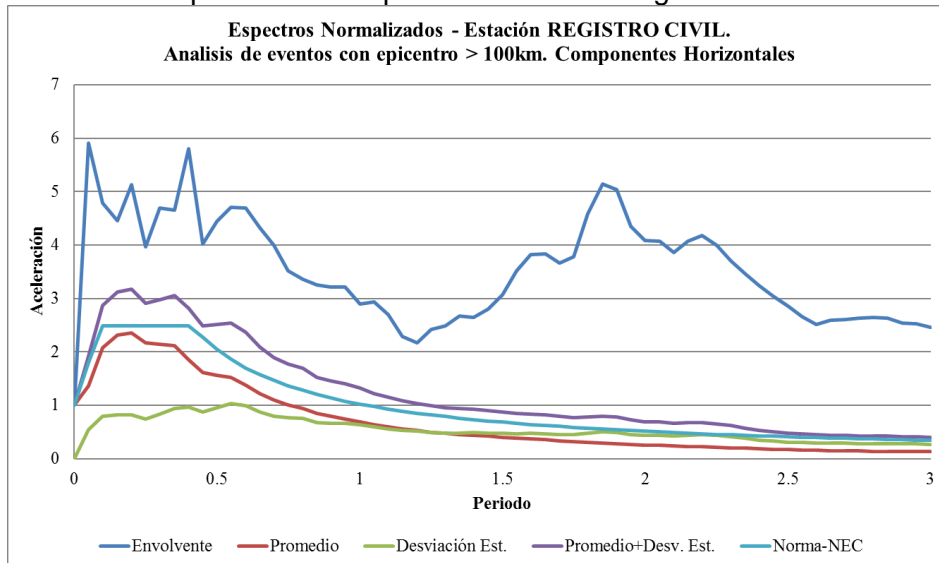
de la envolvente sobrepasa a la de la NEC y la promedio+desviación estándar solo lo cubre hasta un periodo de vibración de 0.25s.

Gráfico 29. Comparación de espectros. Estación Registro Civil. Eventos cercanos.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA

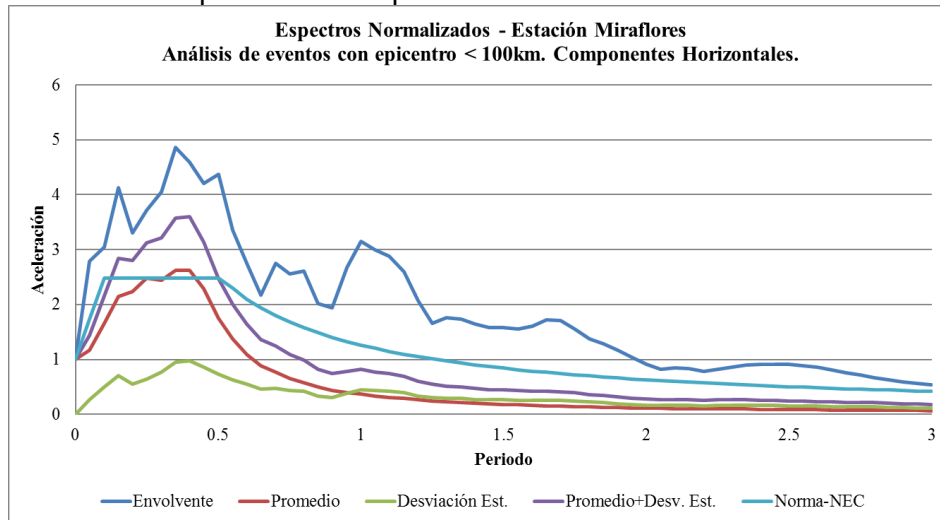
Gráfico 30. Comparación de espectros. Estación Registro Civil. Eventos lejanos.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA

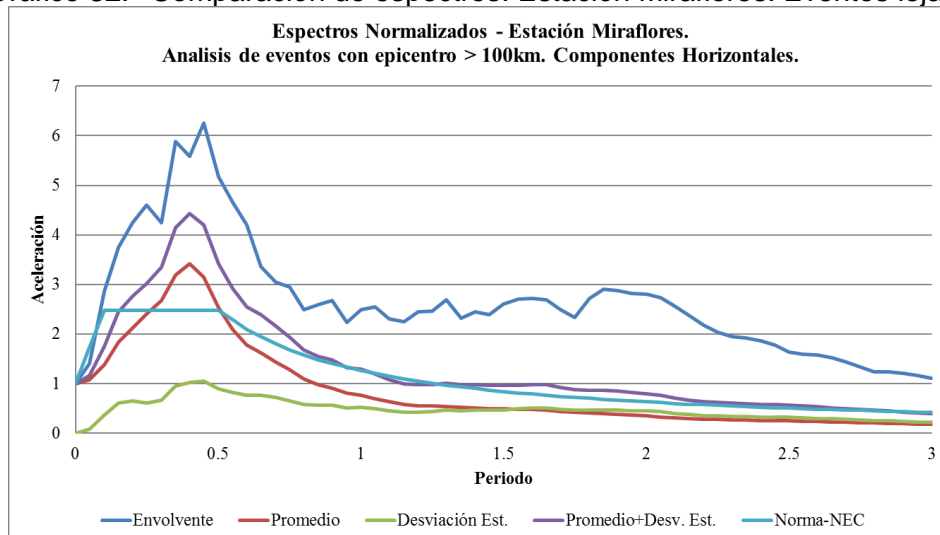
La estación del Registro civil se encuentra sobre un suelo de tipo "B". Se puede observar que, tanto en los sismos cercanos como en los lejanos, el espectro de diseño de la norma NEC cubre al espectro promedio. Sin embargo, en los sismos cercanos se aprecian picos de la envolvente y promedio+Des.Est. que se salen de la gráfica de la Norma. En los sismos lejanos la envolvente y la promedio+Des.Est. son superiores a la de la NEC.

Gráfico 31. Comparación de espectros. Estación Miraflores. Eventos cercanos.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA

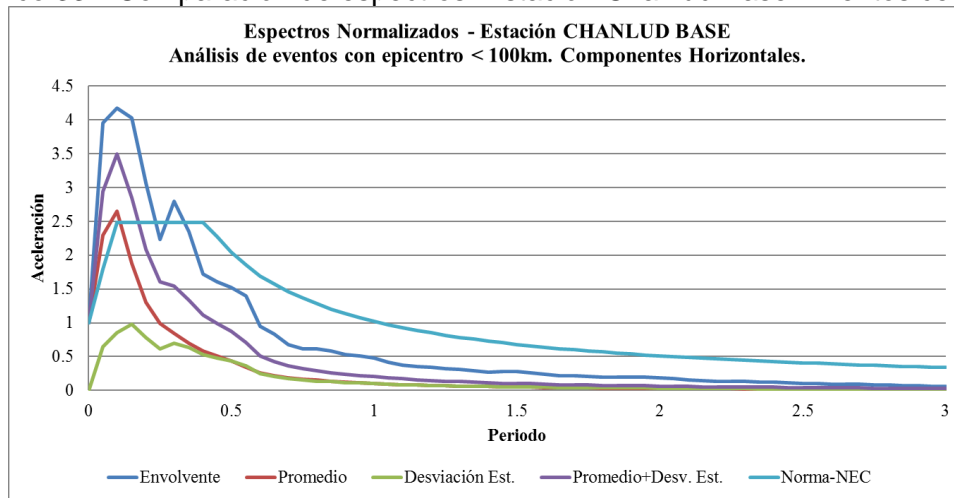
Gráfico 32. Comparación de espectros. Estación Miraflores. Eventos lejanos.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA

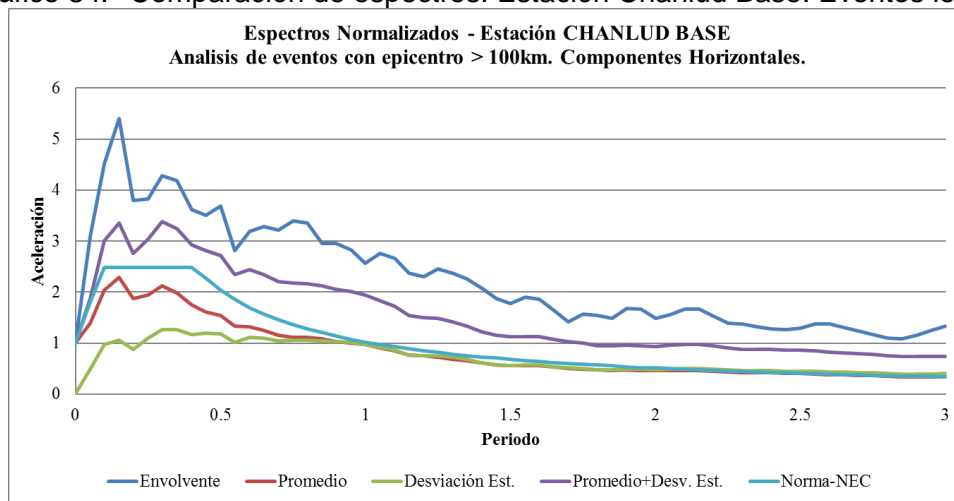
El suelo en Miraflores es de tipo "C" según la NEC-SE-DS. La gráfica de la norma NEC deja sobresalir unos picos en ambos casos para los espectros de promedio, envoltente y promedio+Desv.Est. Cabe anotar que el suelo donde se encuentra esta estación, tiende a amplificar el movimiento sísmico.

Gráfico 33. Comparación de espectros. Estación Chanlud Base. Eventos cercanos.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA

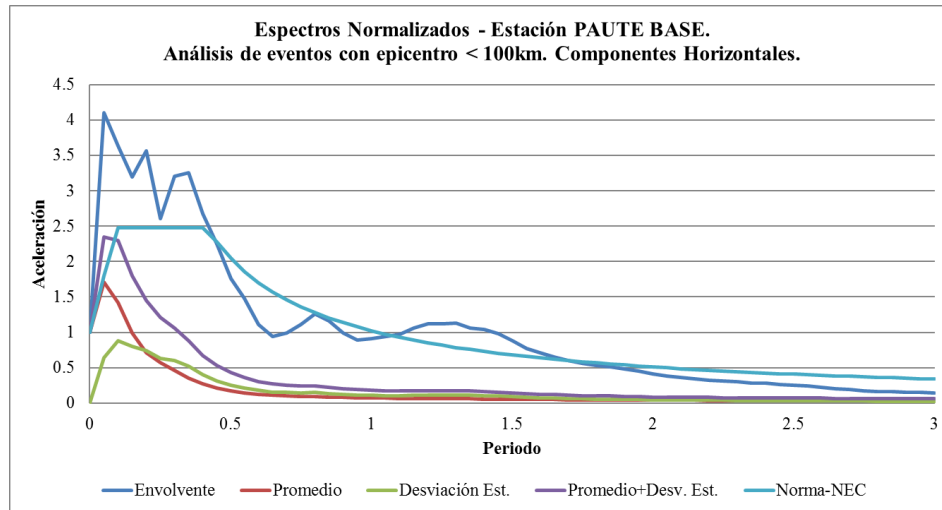
Gráfico 34. Comparación de espectros. Estación Chanlud Base. Eventos lejanos.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA

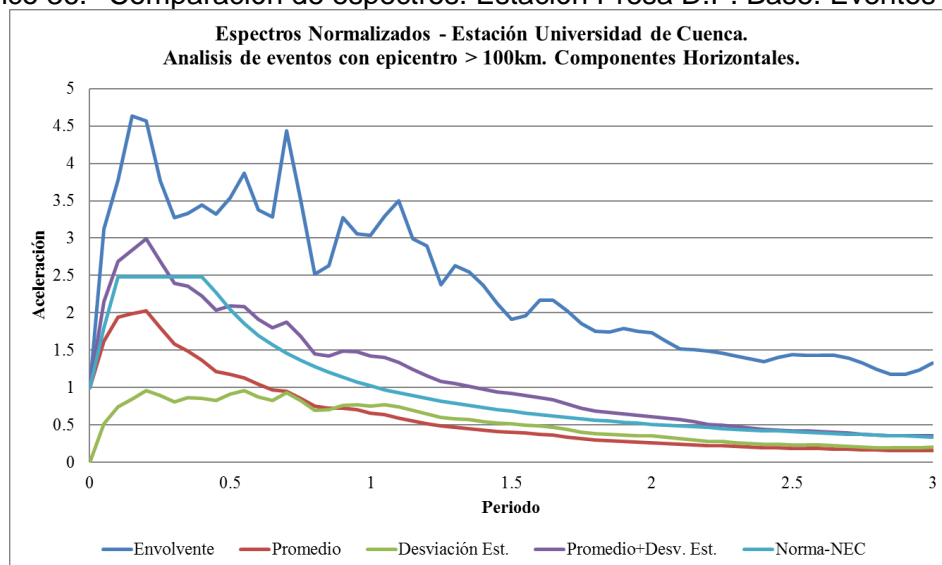
La estación de Chanlud Base está asentada en un suelo de tipo "A" (roca). El análisis de sus gráficas se resume que, para los sismos cercanos, a partir de periodos de vibración mayores a 0.4sg, el espectro de la norma satisface a todas las curvas. Sin embargo, para sismos lejanos, el espectro de la norma NEC no cubre al espectro de la envolvente y al espectro del promedio+Desv.Est.

Gráfico 35. Comparación de espectros. Estación Presa D.P. Base. Eventos cercanos.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA

Gráfico 36. Comparación de espectros. Estación Presa D.P. Base. Eventos lejanos.



Fuente: NEC, elaborados en la RSA

La estación de la Presa Daniel Palacios Base, está asentada en roca (suelo tipo A), por lo que se puede apreciar algo parecido de las curvas de la estación de Chanlud Base. Se puede observar que a diferencia de Chanlud Base, se muestra unos leves picos que se sobresalen en el espectro de la norma NEC.

Gráfico 37. Comparación de espectros. Estación MAZAR Base. Eventos cercanos.

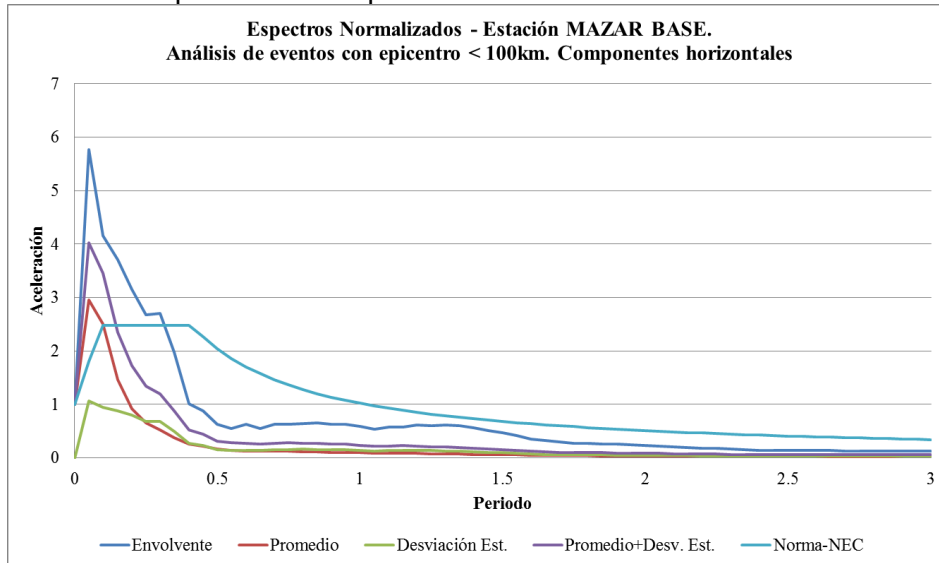
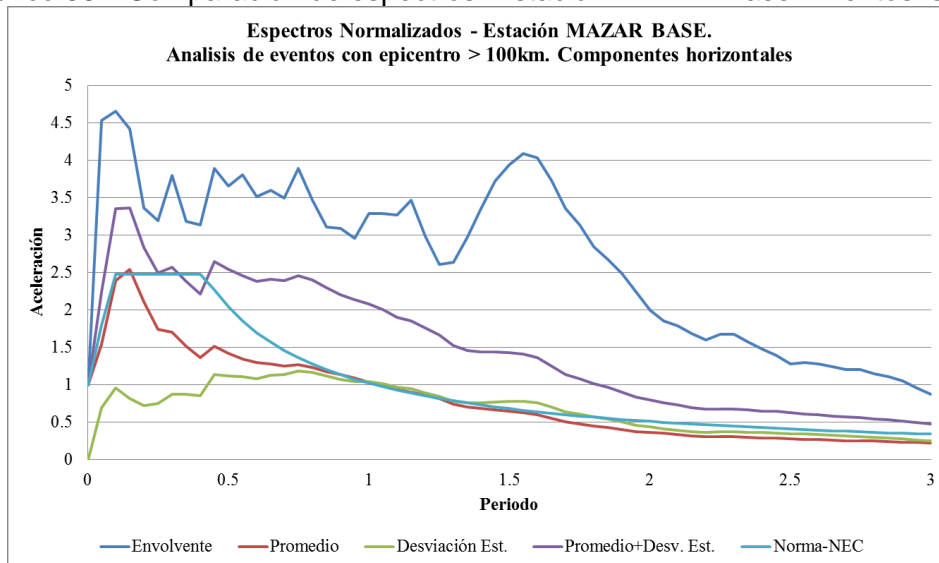


Gráfico 38. Comparación de espectros. Estación MAZAR Base. Eventos lejanos.



La estación MAZAR BASE está implantada en roca (suelo tipo A), el espectro de la norma no cubre al espectro promedio de sismos cercanos, esto se produce en donde los periodos de vibración son bajos, menores a 0.2sg. En cambio, en los espectros de sismos lejanos, el espectro de la norma cubre al espectro promedio, pero no al de la envolvente y la de promedio+Desv. Est.



Estos espectros elásticos fueron calculados para una ductilidad del 5%. En los anexos se presentan espectros elásticos para ductilidades de 1, 2, 3, 5 y 10% de los sismos representativos de cada estación.

4.1.2 Gráficas de espectros inelásticos

El espectro de diseño inelástico se obtiene a partir de la reducción del espectro de diseño elástico, por medio del uso de los factores de modificación o factores de reducción dependientes de la ductilidad. Es importante tener en cuenta, que, si se diseña una estructura para el espectro elástico, no se espera ningún daño en la estructura, pero resultaría costosa ya que las fuerzas sísmicas a considerar serían muy altas, es por esta razón la necesidad de utilizar espectros inelásticos.

Según la NEC, el espectro inelástico se obtiene dividiendo al espectro elástico para el factor $R \Phi_P \Phi_E$. Donde R es el factor de reducción de las fuerzas sísmicas debido al comportamiento no lineal de las estructuras –depende del tipo de estructuras y material- (Ver capítulo 3), Φ_P y Φ_E son coeficientes de regularidad, en planta y elevación, respectivamente. Los coeficientes de regularidad son valores menores o igual a la unidad, provocando más bien una amplificación al espectro si es menor que 1. En cambio, el valor de R es mayor a uno y representa el comportamiento dúctil de la estructura.

Para la obtención de estos espectros, se eligieron acelerogramas de los eventos más cercanos a la estación, con la mayor magnitud y la menor profundidad. Solo se analizaron espectros de las estaciones de la Universidad de Cuenca, Registro Civil, Miraflores y Chanlud Base. En los anexos se presentan las gráficas de aceleración, velocidad, desplazamiento y espectros de respuesta de estos eventos.

Cabe mencionar que el uso de espectros inelásticos, permite al consultor estructuralista disminuir en gran medida la carga por la acción sísmica, por lo que el uso de estos espectros debe ser utilizado con gran responsabilidad. A mayor factor R que se utilice se está considerando un mayor riesgo, por lo que el tipo de estructura y material deberá ser mejor.

Los espectros inelásticos se obtendrán para los siguientes factores de reducción $R=2.5, 3$ y 5 . Se tomaron estos valores en función de la Tabla 6, considerando tipologías y materiales de estructuras más comunes en la Ciudad de Cuenca.

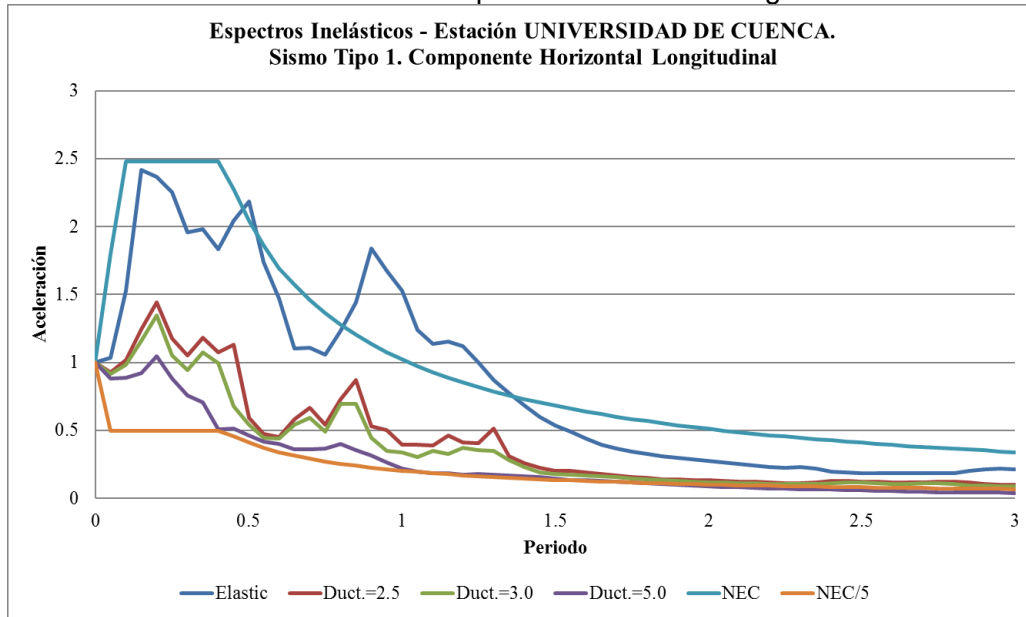


Estación UNIVERSIDAD DE CUENCA, Sismo Tipo 1:

Fecha y Hora local: 1999/08/03 10:59 Magnitud: 5.3Mb

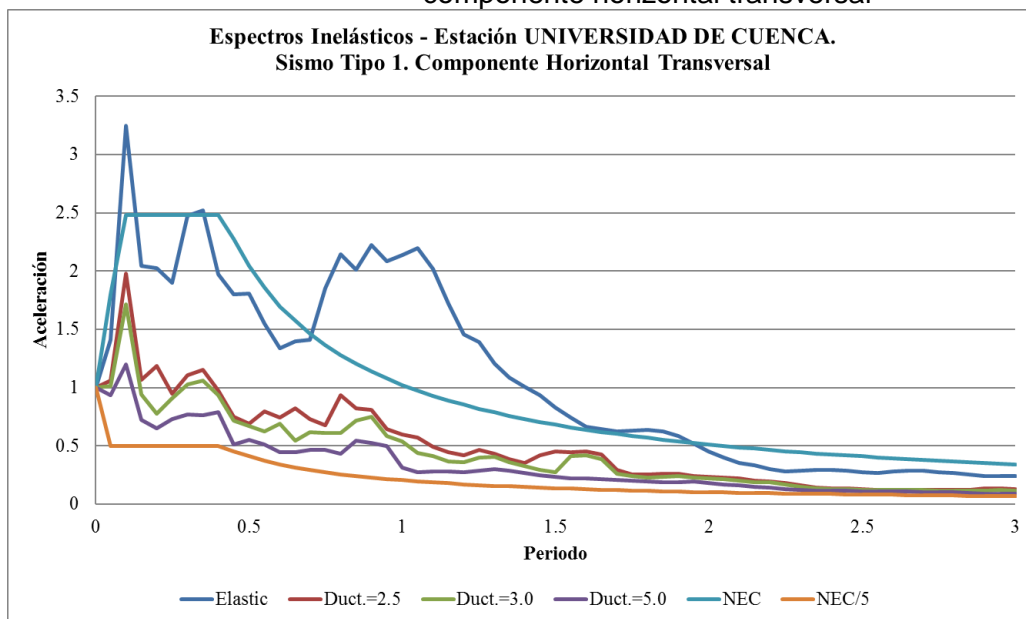
Distancia Epicentral: 59km Profundidad: 64.11km

Gráfico 39. Espectros inelásticos. Estación Universidad de Cuenca. sismo Tipo1. componente horizontal longitudinal



Fuente: NEC y RSA

Gráfico 40. Espectros inelásticos. Estación Universidad de Cuenca. sismo Tipo1. componente horizontal transversal



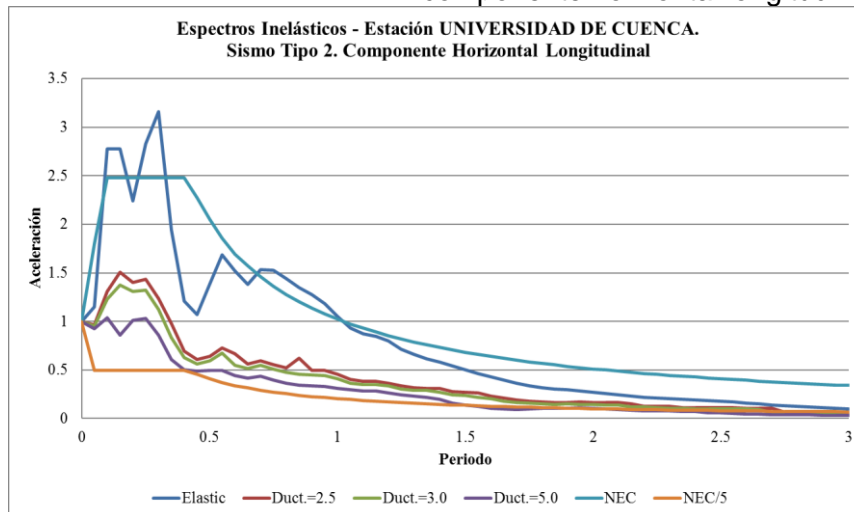
Fuente: NEC y RSA

Estación UNIVERSIDAD DE CUENCA, Sismo Tipo 2:

Fecha y Hora local: 2007/06/10 19:19 Magnitud: 5.0Mb

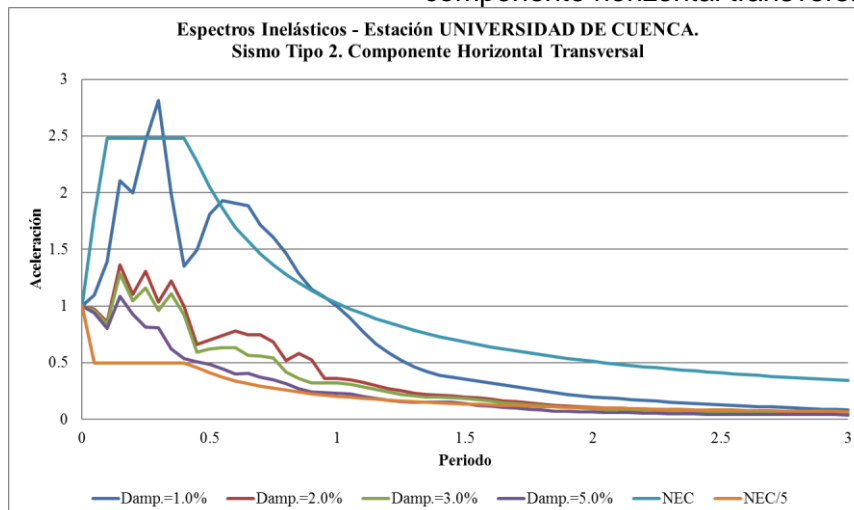
Distancia Epicentral: 46km Profundidad: 81.07km

Gráfico 41. Espectros inelásticos. Estación Universidad de Cuenca. sismo Tipo2. componente horizontal longitudinal



Fuente: NEC y RSA

Gráfico 42. Espectros inelásticos. Estación Universidad de Cuenca. sismo Tipo2. componente horizontal transversal



Fuente: NEC y RSA

En la estación Universidad de Cuenca, los espectros con amortiguamiento mayor al 5% cumplen con el espectro de la norma, pero con sistemas con amortiguamiento menor no cumplen con el espectro de la norma. Esto significa, que los espectros con amortiguamiento menor al 5%, pueden ser útiles para estructuras más rígidas y de



poca ductilidad. En cambio, los espectros con amortiguamiento mayor al 5% pueden ser útiles para estructuras con mayor ductilidad.

Estación REGISTRO CIVIL, Sismo Tipo 1:

Fecha y Hora local: 2000/10/06 19:00 Magnitud: 4.6Mw

Distancia Epicentral: 38km Profundidad: 70.39km

Gráfico 43. Espectros inelásticos. Estación Registro Civil. sismo Tipo 1. componente horizontal longitudinal

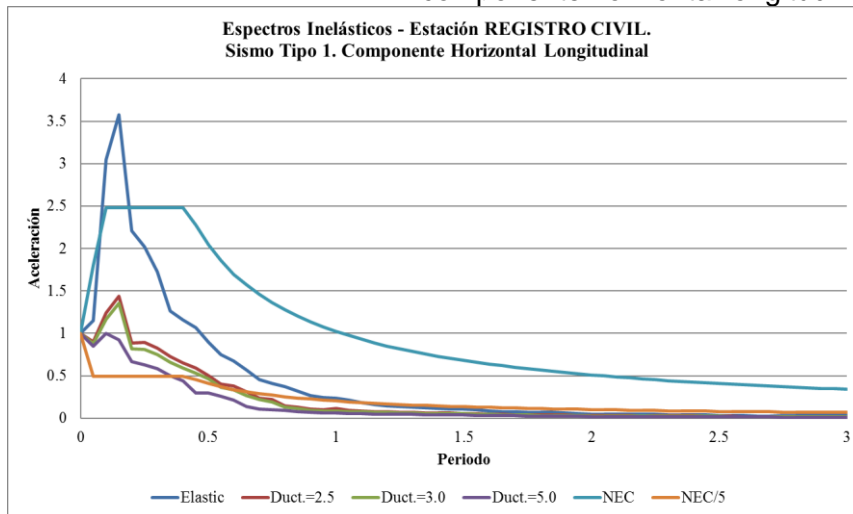
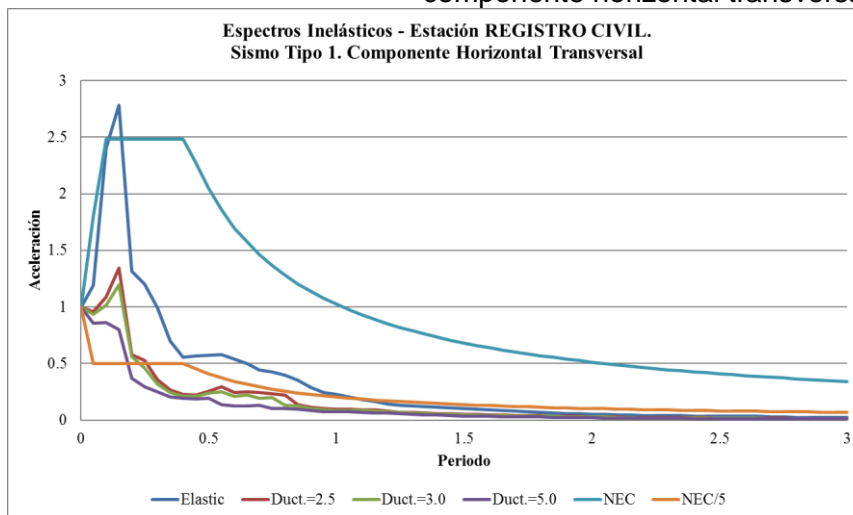


Gráfico 44. Espectros inelásticos. Estación Registro Civil. sismo Tipo 1. componente horizontal transversal



Fuente: NEC y RSA



Estación REGISTRO CIVIL, Sismo Tipo 2:

Fecha y Hora local: 2009/02/08 15:49 Magnitud: 5.0Mw

Distancia Epicentral: 30km Profundidad: 88.06km

Gráfico 45. Espectros inelásticos. Estación Registro Civil. sismo Tipo2. componente horizontal longitudinal

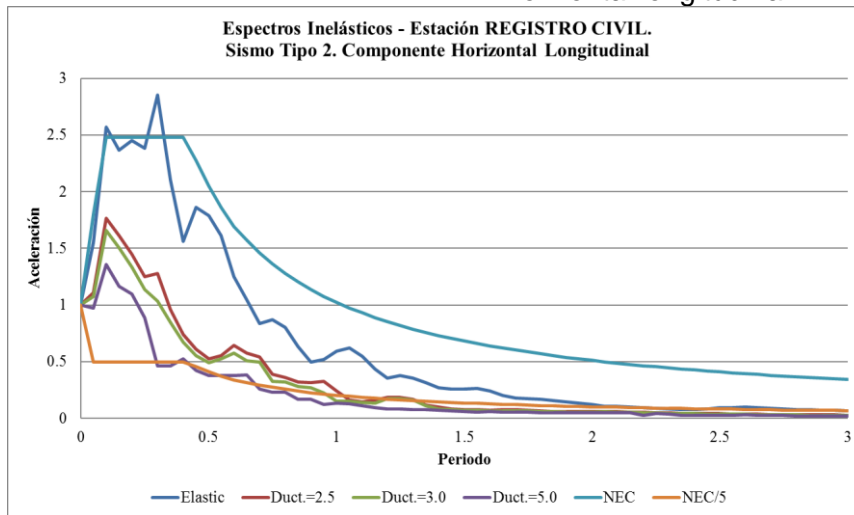
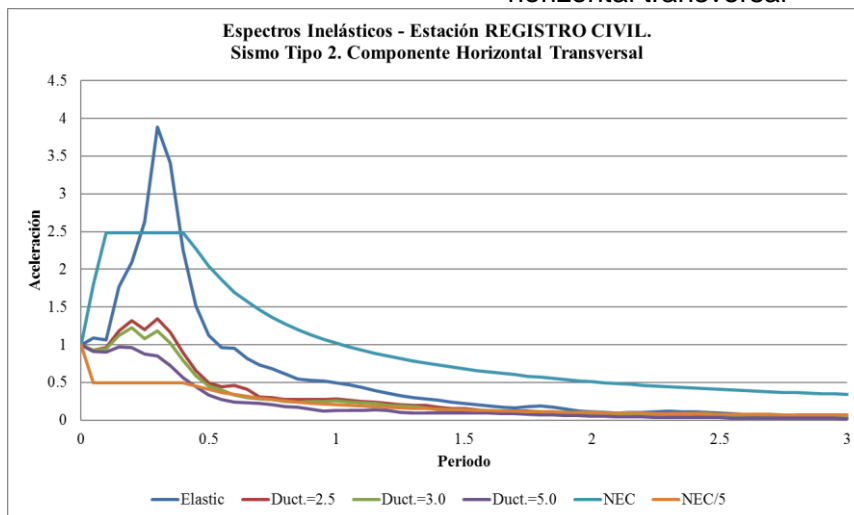


Gráfico 46. Espectros inelásticos. Estación Registro Civil. sismo Tipo2. componente horizontal transversal



FUENTE: NEC y RSA

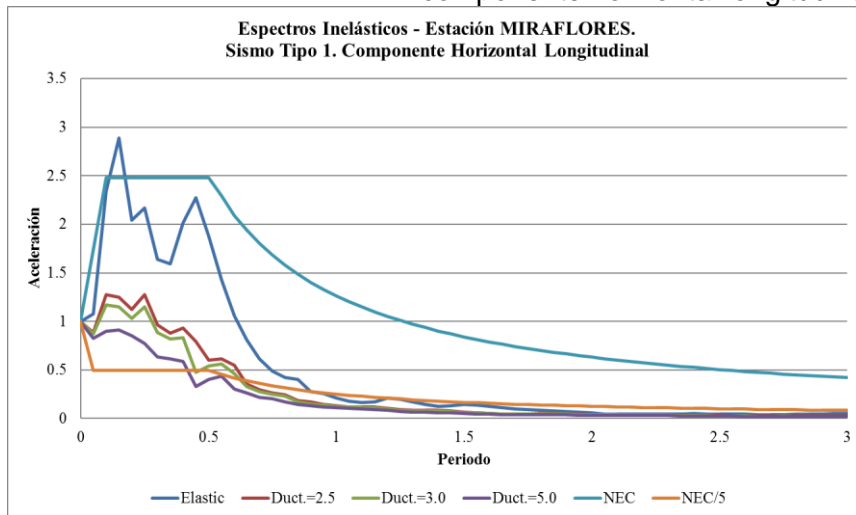


Estación MIRAFLORES, Sismo Tipo 1:

Fecha y Hora local: 2000/10/06 19:00 Magnitud: 4.6Mw

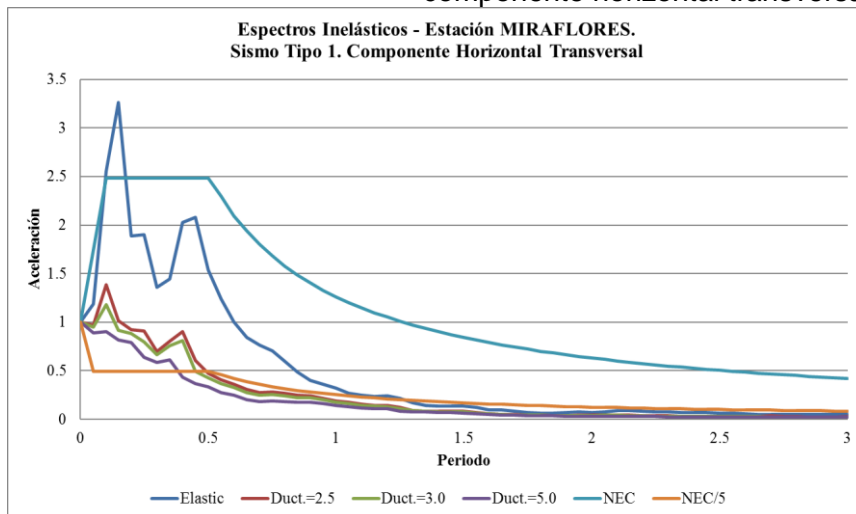
Distancia Epicentral: 38km Profundidad: 70.39km

Gráfico 47. Espectros inelásticos. Estación MIRAFLORES. sismo Tipo 1. componente horizontal longitudinal



FUENTE: NEC y RSA

Gráfico 48. Espectros inelásticos. Estación MIRAFLORES. sismo Tipo 1. componente horizontal transversal



FUENTE: NEC y RSA

Estación MIRAFLORES, Sismo Tipo 2:

Fecha y Hora local: 2014/03/25 04:56 Magnitud: 5.3MB

Distancia Epicentral: 77km Profundidad: 10.87km

Gráfico 49. Espectros inelásticos. Estación MIRAFLORES. sismo Tipo 2. componente horizontal longitudinal

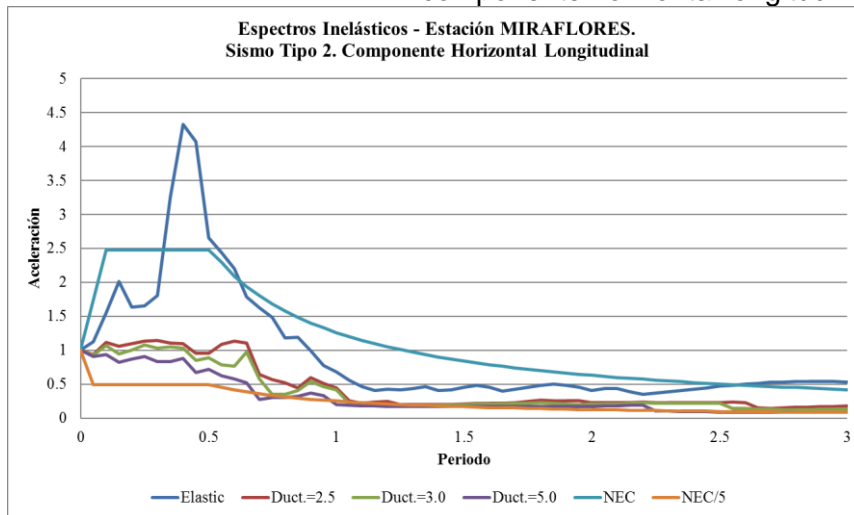
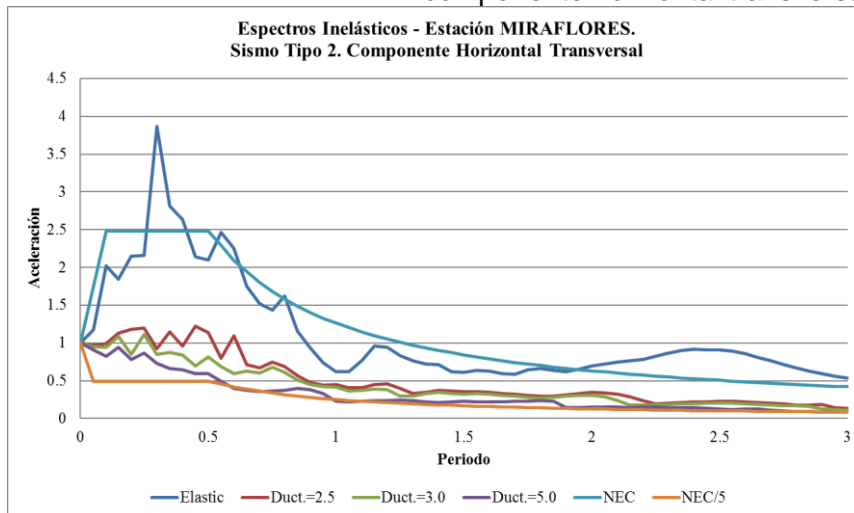


Gráfico 50. Espectros inelásticos. Estación MIRAFLORES. sismo Tipo 2. componente horizontal transversal



FUENTE: NEC Y RSA

Estación CHANLUD BASE, Sismo Tipo 1:

Fecha y Hora local: 2003/09/20 00:19 Magnitud: 4.5Mb

Distancia Epicentral: 64km Profundidad: 11.13km

Gráfico 51. Espectros Inelásticos. Estación CHANLUD BASE, sismo Tipo 1. componente horizontal longitudinal

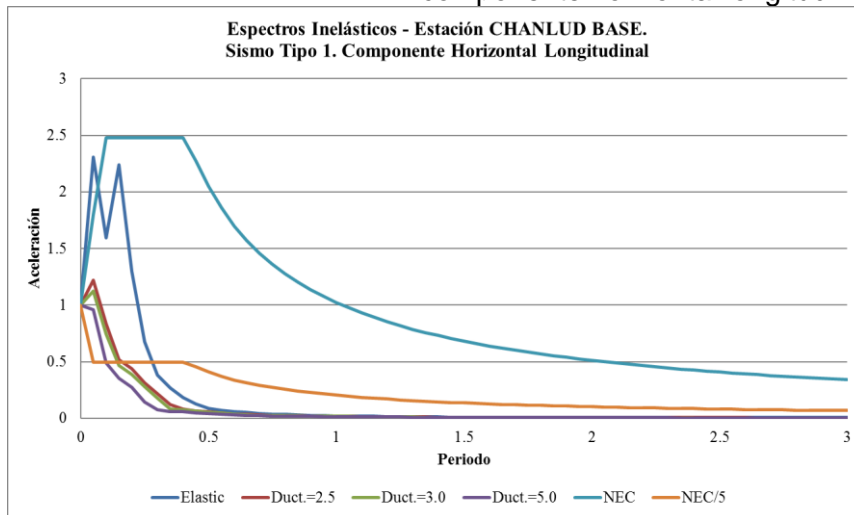
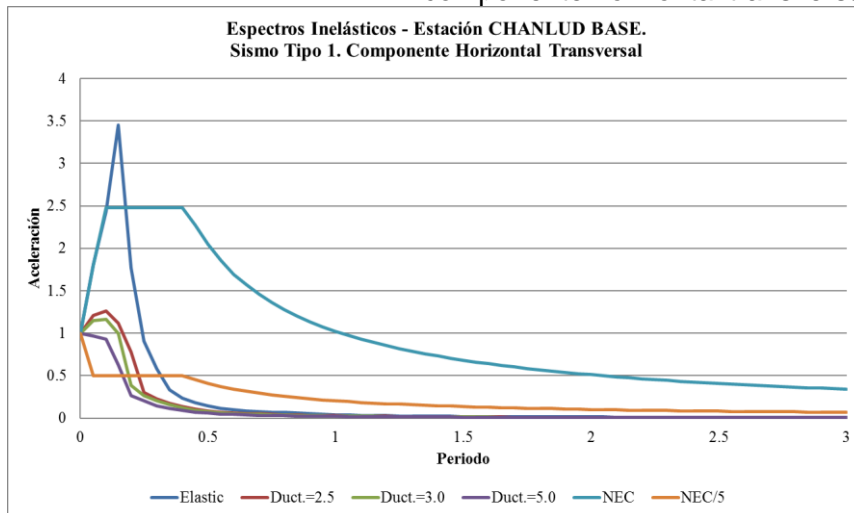


Gráfico 52. Espectros inelásticos. Estación CHANLUD BASE. sismo Tipo 1. componente horizontal transversal



FUENTE: NEC y RSA



Estación CHANLUD BASE, Sismo Tipo 2:

Fecha y Hora local: 2016/05/24 11:35 Magnitud: 4.7Md

Distancia Epicentral: 9km Profundidad: 101.98km

Gráfico 53. Espectros inelásticos. Estación CHANLUD BASE, sismo Tipo 2. componente horizontal longitudinal

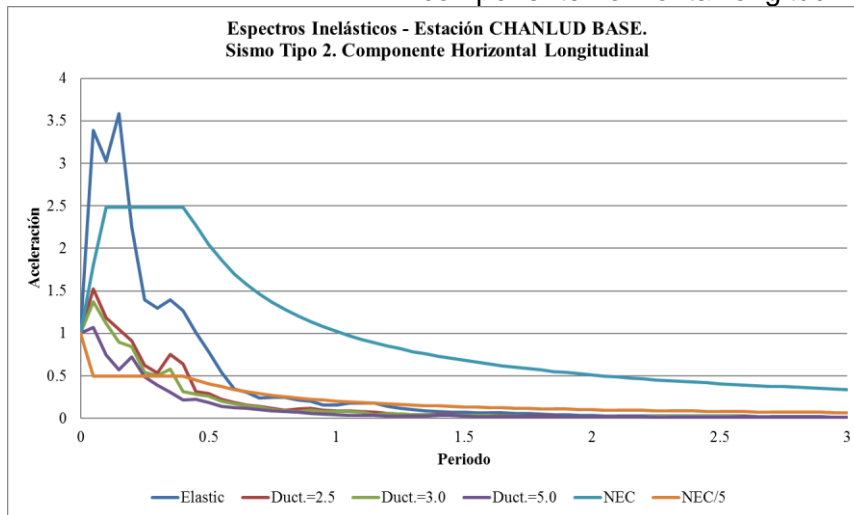
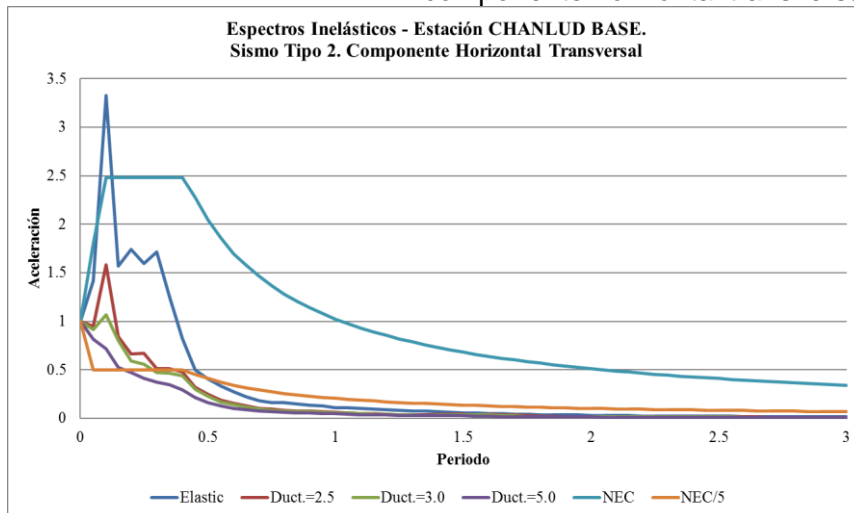


Gráfico 54. Espectros inelásticos. Estación CHANLUD BASE. sismo Tipo 2. componente horizontal transversal



FUENTE: NEC y RSA



CAPITULO 5

5. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

5.1 Conclusiones

Se obtuvieron los espectros elásticos de acelerogramas provenientes de las estaciones ubicadas en la ciudad de Cuenca. Este proceso fue realizado utilizando metodologías de cálculo estándares, y con software que facilitó esta labor. Las estaciones se asientan en tres tipos de suelos (A, B y C), según la NEC-SE-DS-2015.

Utilizando los procesos que se indica en la NEC-SE-DS-2015 se obtuvieron los espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca, con el objetivo de ser evaluadas por medio de espectros obtenidos de registros acelerográficos que la Red Sísmica del Austro mantiene en la ciudad de Cuenca.

De la comparación entre espectros de diseño de la NEC-SE-DS-2015 y los espectros de eventos registrados, se pudo observar lo siguiente:

- En la estación Universidad de Cuenca, los espectros de sismos cercanos están siendo cubiertos por el espectro de diseño de la NEC en un 85% que es el promedio+Desv.Est. Sin embargo, no hay que despreciar los eventos de sismos lejanos, pues la vibración en algunos casos puede hacer que las estructuras entren en resonancia y produzcan daño.
- En la estación del Registro Civil, que se encuentra en el centro de la ciudad, el espectro promedio de los sismos cercanos a la estación, está dentro del espectro de la norma NEC para suelo tipo "B". El espectro promedio+la desviación estándar supera al espectro de la norma NEC en frecuencias bajas que van de 0.1 a 0.25sg.
- La estación de Miraflores tiene un suelo tipo "C", por lo que el espectro de diseño de la norma NEC tiene aceleraciones altas hasta periodos de vibración de 0.5sg. A pesar que este espectro cubre al 98% del espectro promedio de los sismos cercanos, éste no cubre en su totalidad al espectro del promedio+la desviación estándar; esto es, entre los periodos de vibración que van del 0.1 al 0.5sg.



- Las estaciones que están en roca son los que están en las presas: Chanlud, Daniel Palacios y Mazar. Se incluyeron en este estudio para analizar y validar sus resultados. Con respecto al espectro de la Norma NEC de roca, el espectro promedio y el del promedio+Desv.Estand. de la presa Daniel Palacios, de sismos cercanos, está dentro de la gráfica de la Norma. Esto no ocurre en las otras dos estaciones; cumpliéndose solamente para el espectro promedio. Esto puede significar, que el tipo de roca es diferente, aunque este sería tema de otro estudio que excede el alcance de la presente investigación.

En general, para los tres tipos de suelos de las estaciones analizadas, los espectros promedios cumplen y están dentro del espectro de diseño de la Norma NEC. Con respecto a los espectros obtenidos de sismos cercanos a las estaciones, los espectros promedio+Desv.Estan. y la envolvente, no están dentro del espectro de la Norma NEC.

Para los espectros de sismos lejanos a las estaciones, en periodos de vibración mayores a 0.7sg. los espectros no cumplen a partir de la curva descendente del espectro de la NEC.

Los espectros inelásticos se compararon con el espectro inelástico de la norma (NEC/5), se observó que para periodos de vibración menores al 0.4sg., estos espectros no cumplen con los de la norma. Por lo tanto se sugiere no aplicar en la reducción por ductilidad a estructuras con periodos de vibrar menores a este valor.

En el rango de períodos donde no cumple el espectro de diseño de la Norma NEC, nos indica que, para este tipo de suelos, se debe evitar la construcción de edificaciones con este rango de periodos.

El uso de los espectros inelásticos permite a los proyectistas estructurales, diseñar estructuras menos costosas. Sin embargo, el uso del factor de reducción R debe ser controlado, de manera que se cumpla con lo que se proyecte. Es decir, si se utiliza un factor de reducción que se tomó de la tabla 15 y 16 de la NEC-SE-DS, donde se describe el tipo y material de estructura a proyectar, el diseño debe cumplir con esta elección.



5.2 Líneas Futuras.

En este estudio se ha observado el comportamiento de la aceleración de los suelos ante una acción sísmica. Se deberían realizar, no obstante, estudios adicionales con respecto a la velocidad y desplazamiento, parámetros que permiten visualizar desde otra perspectiva el comportamiento del suelo.

Por otro lado, resultaría una útil herramienta llegar a poder obtener espectros de diseño con el método de Newmak y Hall que dependen de la velocidad y desplazamiento, de manera que permita conocer otros parámetros que pueden ser útiles para el diseño de las estructuras.

Respecto a los espectros obtenidos de estaciones ubicadas en suelos tipo "A", los resultados no fueron parecidos entre estaciones, por lo que se deberían analizar otros parámetros para identificar la causa de esta diferencia.

Respecto al estudio realizado, para validar los resultados, sería conveniente obtener espectros de diseño por otros métodos como, por ejemplo, calcular espectros de diseño en base a los espectros de roca y coeficientes de amplificación según el tipo de suelo.

Otro proceso que se puede dar a estos espectros, es llegar a obtener el espectro de diseño en roca y que se pueda calibrar para adaptarlos a otro escenario, en función de la magnitud del sismo, la distancia a la falla que lo causa, su duración y el efecto de las condiciones locales del suelo en el sitio de interés, en parámetros o coeficientes.

Por último, la investigación llevada a cabo ha permitido conocer el comportamiento dinámico de los suelos de la ciudad de Cuenca y corroborar con la información de la norma NEC. Queda pendiente estudiar la interacción de los suelos con las estructuras, considerando parámetros que representen los materiales, tipologías y metodologías constructivas locales.



BIBLIOGRAFÍA.

Alberto Sarria. (1995). Ingeniería Sísmica. Sta. Fe de Bogotá Colombia: Ediciones Uniandes-ECOE ediciones.

LUIS M. BOZZO – ALEX H. BARBAT (2000), Diseño sismorresistente de edificios, Barcelona – España

NEWMARK, N. M. Y HALL, W.J. (1982). Earthquake Spectra and Design, Earthquake Engineering Research Institute, Berkeley, California.

CHOPRA A. K. (1995) Dynamic of Structures, 2nd Edition, McGraw Hill.

CHOPRA A.K. (2014) Dinámica de estructuras, 4ta Edición – en español, PEARSON.

Base de datos y Catálogo Sísmico de la Red Sísmica del Austro – Facultad de Ingeniería de La Universidad de Cuenca. - Ecuador

Catálogo sísmico del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional – Ecuador.
<http://www.igepn.edu.ec/portal/ultimo-sismo/informe-ultimo-sismo.html>. Páginas consultadas hasta noviembre/2016.

Catálogo sísmico de Instituciones Internacionales: National Earthquake Information Center, NEIC; International Seismological Centre, ISC and IRIS Earthquake Browser.
<http://ds.iris.edu/SeismiQuery/sq-eventsmag.htm>. Páginas consultadas hasta noviembre/2016.

BASABE, P. et al. (1998), Prevención de Desastres Naturales en la Cuenca del Paute, Informe Final. Componente B, Geología y Geotécnica proyecto PRECUPA.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN-INEN (2001), Código de práctica Ecuatoriano CPE INEN 5:2001 Parte 1. Capítulo 12 Código Ecuatoriano de la Construcción. Requisitos generales de diseño: peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculos para diseño sismo resistente.

MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN – 2015, Capítulo 2 Peligro Sísmico – Diseño Sismo Resistente. CÓDIGO: NEC-SE-DS



ROGER D, BORCHERDT. (2000). Seismic Design Provisions and Guidelines. Earthquake Spectra, Volume 16, Number 1

GARCIA, E. (2000). Peligro Sísmico de la zona del Austro del Ecuador. Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Red Sísmica del Austro.

ENCALADA, M. (2000). Zonificación de la ciudad de Cuenca en Función de los períodos Dominantes de Vibración de los Suelos. Tesis de Grado. Universidad de Cuenca.

PAZ, M. (1992). Dinámica Estructural, Revete, SA., Barcelona España

RIDELL R, GARCÍA E, (1995). Manual de Uso, SPEC95 Programas para el cálculo de espectros de respuesta de sistemas inelásticos sometidos a excitación basal. DIE N° 95-2. Pontificia Universidad Católica de Chile.



ANEXOS.