



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**SELECCIÓN DE FAMILIAS DE ACELEROGRAMAS PARA EL MÉTODO DE ANÁLISIS
CRONOLÓGICO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

PRESENTADO POR:

NELSON ANTONIO BARRERA VARGAS CÓDIGO: 503420

LUIS ANEIDER LOZANO GÓMEZ CÓDIGO: 502764

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

**SELECCIÓN DE FAMILIAS DE ACELEROGRAMAS PARA EL MÉTODO DE ANÁLISIS
CRONOLÓGICO EN LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**

PRESENTADO POR:

NELSON ANTONIO BARRERA VARGAS CÓDIGO: 503420

LUIS ANEIDER LOZANO GÓMEZ CÓDIGO: 502764

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PRESENTADO COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

DOCENTE ASESOR:

ING. JUAN SEBASTIAN AGUDELO MAYORGA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BOGOTÁ, D. C.
2018**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. Mayo de 2018

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. GENERALIDADES.....	10
2.1 ANTECEDENTES.....	10
3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
3.1 PLANTEAMIENTO.....	12
3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
4. OBJETIVOS.....	14
4.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	14
5. JUSTIFICACION.....	15
6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	15
6.1 ALCANCES.....	15
6.2 LIMITACIONES.....	15
7. MARCO DE REFERENCIA.....	17
7.1 MARCO TEORICO.....	17
7.2 MARCO CONCEPTUAL.....	20
7.3 ESTADO DEL ARTE.....	22
8. METODOLOGÍA.....	24
9. DESARROLLO.....	25
10. INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	31
11. CONCLUSIONES.....	49
12. BIBLIOGRAFÍA.....	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización Fallas Geológicas en Colombia	25
Figura 2. Transmisión De Ondas Sísmicas.....	26
Figura 3. Estaciones de Monitoreo	28
Figura 4. Localización de las Estaciones de la RAB	30
Figura 5. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 1.....	32
Figura 6. Espectros de Respuesta Sismo No. 1	33
Figura 7. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 2.....	34
Figura 8. Espectros de Respuesta Sismo No. 2.....	35
Figura 9. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 3.....	36
Figura 10. Espectros de Respuesta Sismo No. 3.....	36
Figura 11. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 4.....	38
Figura 12. Espectros de Respuesta Sismo No. 4.....	39
Figura 13. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 5.....	40
Figura 14. Espectros de Respuesta Sismo No. 5.....	41
Figura 15. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 6.....	42
Figura 16. Espectros de Respuesta Sismo No. 6.....	43
Figura 17. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 6.....	44
Figura 18. Espectro de Respuesta Sismo No. 7.....	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de las estaciones de acelerógrafos.....	29
Tabla 2. Datos Generales Sismo No. 1	32
Tabla 3. Datos Generales Sismo No. 2	34
Tabla 4. Datos Generales Sismo No. 3	36
Tabla 5. Datos Generales Sismo No. 4	38
Tabla 6. Datos Generales Sismo No. 5	40
Tabla 7. Datos Generales Sismo No. 6	42
Tabla 8. Datos Generales Sismo No. 7	44
Tabla 9. Sismos Registrados por la RAB.....	46
Tabla 10. Compilación de los Sismos	48

1. INTRODUCCIÓN.

El Diseño estructural es una de las áreas donde se desarrolla la Ingeniería Civil y se realiza a partir de las potencialidades que un material puede ofrecer, así como sus características naturales que lo hacen específico, su bajo costo y las propiedades mecánicas que posee.

Cuando se desarrolla un análisis dinámico a estructuras especiales es necesario saber la respuesta de sitio debido a un sismo. Actualmente podemos guiarnos con tres métodos para conocer esta respuesta, dado: un registro sísmico real, un acelerograma compatible con el espectro de diseño o por medio de registros sísmicos sintéticos obtenidos de modelos sísmicos.

Existen diversos métodos de obtención de acelerogramas artificiales, entre ellos el más usado es el análisis de Fourier, no obstante, este tipo de análisis solo considera la frecuencia, sin tener en cuenta el tiempo-frecuencia. Alguna información plantea que el uso de este tipo de método tiende a dar valores irreales de alta duración y número de ciclos de movimientos, especialmente para análisis inelásticos.

Con previos registros lo que se busca es modificar registros sísmicos previos, con el fin de generar acelerogramas artificiales que sean compatibles con los espectros de diseño sísmico.

Un registro sísmico real, puede proporcionar información suficiente para determinar las características de un evento sísmico, necesario para el análisis de diseño cronológico, el cual consiste en generar una familia de acelerogramas que puede ser utilizada cuando a juicio del ingeniero diseñador está descrita adecuadamente las propiedades dinámicas de la estructura y conduce a resultados representativos de los movimientos sísmicos de diseño.

Para efectos de diseño, con este método de análisis, la respuesta ante la componente horizontal de un mínimo de tres acelerogramas diferentes, que será el número mínimo que conforme la familia, todos ellos deberán representar lo mejor posible los movimientos esperados del terreno teniendo en cuenta que deben provenir de registros tomados en eventos con magnitudes, distancias hipocentrales

o a la falla causante y mecanismos de ruptura similares a los de los movimientos sísmicos de diseño prescritos para el lugar de dicho análisis, pero que cumplan con la mayor gama de frecuencias y amplificaciones posibles. Si se utilizan siete o más acelerogramas, en vez del mínimo de los tres, se puede utilizar el valor promedio de los valores obtenidos de todos los acelerogramas que conformen la familia.¹

¹ Los sismos y el concreto reforzado. Illinois, EU., Obtenido 09, 1964, disponible en http://www.imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Sismos/l46sis_0912_reinoso_criterios0001.pdf.

2. GENERALIDADES

2.1 ANTECEDENTES

En el diseño de estructuras, no es suficiente definir el movimiento sísmico en términos de un espectro de diseño que considera fuerzas relacionadas a la respuesta máxima como la aceleración espectral. En la norma sismo resistente de nuestro país, el espectro de diseño tiene forma paramétrica cuyas intensidades corresponden a la aceleración de un sistema de un grado de libertad. Estos parámetros no siempre tienen una correlación directa con el daño; es más, el daño acumulado producido por el movimiento sísmico de la estructura no puede tomarse en cuenta. Para ello, se deben usar acelerogramas en el diseño de estructuras.

El Dr. Raul Husid, en su libro "*TERREMOTOS: Análisis espectral y características de acelerogramas como base del diseño sísmico*", dice que aun cuando los primeros registros sísmicos datan de finales del siglo XIX, hasta la fecha de su publicación en el año 1973, eran muy pocos los acelerogramas obtenidos cercanos al epicentro de los grandes terremotos que han azotado a la humanidad y propone algunos criterios normalizados para digitalizar y corregir la línea base de los registros considerando las condiciones iniciales e introduce conceptos para determinar la longitud útil del acelerograma, definiendo de esta manera ciertas características fundamentales que permitan evaluar en forma más objetiva el posterior análisis espectral, siendo así, unos de los profesionales que se involucró en el tema del análisis cronológico.²

² GARCÍA REYES, Luis E. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., CO., 1998.

Estos acelerogramas deben reproducir tan bien como sea posible el movimiento esperado en el sitio. Este movimiento debe tener en cuenta la influencia de parámetros tales como la magnitud, la distancia, el mecanismo de falla y efectos del sitio.

Existen diferentes maneras de obtener acelerogramas con propósitos de diseño. El más fácil es el uso de registros disponibles en bancos de datos mundiales con características similares; esto significa que el evento sísmico debe tener aproximadamente la misma magnitud y distancia, y el perfil del suelo debe ser similar. Zhai y Xie crearon un catálogo de movimientos sísmicos de bases de datos mundiales considerando los efectos de intensidad, contenido de frecuencia y duración del movimiento del suelo y las características dinámicas de las estructuras que fueron afectadas por esos sismos.³

También es posible usar movimientos sísmicos simulados compatibles con un determinado espectro de diseño del sitio; sin embargo, estas historias de tiempo no tienen la apariencia de movimientos sísmicos reales, y cuando la estructura se somete a estos, se podría sobrestimar las demandas de desplazamientos y la energía de entrada. Finalmente, se han llevado a cabo análisis probabilísticos de demandas sísmicas con el propósito de encontrar, en una cierta estructura, el número de registros a usarse, escalando registros para estimar la demanda sísmica; entonces, el número requerido de registros para obtener una estimación razonable de la respuesta se reduce significativamente disminuyendo la dispersión en la estimación de las demandas.

³ BAHAR, Omid; TAHERPOUR, Abolfazl, Selection of Artificial Spectrum Compatible Accelerograms for Nonlinear Dynamic Analysis of RC Buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, CN., 2008.

3. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

3.1 PLANTEAMIENTO

La necesidad de siempre mejorar los procesos, ya sean de análisis, diseño, ejecución y realización de cualquier proyecto, lleva a los profesionales de las distintas áreas del conocimiento a mejorar sus procesos y siempre buscando celeridad en ellos.

En el área de diseño en estructuras es de gran importancia revisar la variación en la aceleración ya que es muy irregular en el tiempo, es necesario que los registros de datos se realicen en intervalos muy cortos de tiempo, 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, esto nos conlleva a amplificar los análisis y ver una opción en la innovación, porque siempre los diseños deben ir orientados a la protección de la vida y la optimización de recursos a la hora de la construcción y ejecución de la obra diseñada, y pensando en esos conceptos es que se decide seleccionar una familia de acelerogramas que puedan dar información a diseñadores estructurales, los cuales crearían sus diseños con un método diferente a los convencionales, dándole una característica especial frente a otros diseños que usan métodos más comunes.

3.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En función de lo anterior citado, la necesidad de innovar en los procesos está latente, y dando una solución a esta necesidad es que se planteado la selección de estos acelerogramas para proporcionar información veraz y concisa de los sismos ocurridos para dar una idea de cómo se puede comportar una estructura al momento de experimentar estos movimientos.

El desarrollo del presente proyecto de grado resolverá la siguiente interrogante:
¿Qué familia de acelerogramas es la más indicada para ser utilizada en Bogotá D.C. Para llevar a cabo el método de análisis cronológico?

El problema que se plantea permite hacer un análisis de una familia de acelerogramas y así determinar la que presenta los datos más representativos de los movimientos esperados teniendo en cuenta el terreno en el que se encuentra la ciudad de Bogotá D.C.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Definir una familia de acelerogramas que logre ser pieza fundamental al momento de llevar a cabo un diseño estructural por medio del análisis de diseño cronológico.

4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✓ Estudiar los registros sísmicos en Bogotá D.C. para realizar la determinación las familias de acelerogramas para la realización del análisis cronológico.
- ✓ Recolectar información suficiente de los eventos sísmicos ocurridos y monitoreados en la ciudad de Bogotá D.C. para la creación de las familias de acelerogramas.
- ✓ Escoger los acelerogramas en los que se presenten de mejor manera los datos más representativos de los movimientos esperados en el terreno.
- ✓ Determinar qué familia de acelerogramas es las más indicada para llevar a cabo un diseño estructural en la ciudad de Bogotá D.C. con el método de análisis cronológico.

5. JUSTIFICACION

Este trabajo de investigación tiene como razón fundamental proporcionar las herramientas y la información, que en este caso serían las familias de acelerogramas para el diseño de estructuras en concreto por el método de análisis cronológico, el cual nos da un acercamiento más aproximado al comportamiento de las estructuras al momento de experimentar un evento sísmico.

6. ALCANCES Y LIMITACIONES

6.1 ALCANCES

El proyecto se limitará a analizar la geología de Bogotá, los tipos de fallas y los registros sísmicos presentados en la ciudad, para con esta información seleccionar una familia de acelerogramas donde se puedan evidenciar los movimientos que se presentan en la ciudad para tener un modelo aproximado de cómo se puede comportar una estructura a la hora de experimentar dichos movimientos.

El producto final de nuestra entrega consiste en un paquete de acelerogramas, con el que cualquier ingeniero diseñador pueda trabajar y saber con certeza el comportamiento que tendrá su estructura a la hora de experimentar un evento sísmico.

6.2 LIMITACIONES

Dado el plazo de la entrega del proyecto final, nos limitaremos a realizar los estudios, análisis e investigaciones, con el fin de determinar un número representativo de acelerogramas con la ayuda de la Red Nacional de Acelerógrafos

de Colombia (RNAC), entidad que tiene como objetivos llevar el registro de los sismos intensos que ocurran en el territorio colombiano, proveer información de los sismos fuertes con el fin de servir de base para estudios de amenaza sísmica a nivel local y nacional, suministrar información necesaria para mantener y actualizar los parámetros de diseño sísmico del Reglamento Colombiano de Construcciones Sismo resistente y proveer información para la elaboración de Leyes de Atenuación de las ondas sísmicas en nuestro país.

Teniendo en cuenta el tiempo con el que se cuenta para la realización de este proyecto, solo se analizará la ciudad de Bogotá D.C., que, aunque cuenta con microzonificación sísmica actualmente, está ubicada en una zona sísmica intermedia donde se cuenta con bastante información en lo que respecta a los eventos sísmicos ocurridos en los últimos años.

7. MARCO DE REFERENCIA

7.1 MARCO TEORICO

Mukherjee y Gupta (2002), propusieron un procedimiento iterativo para modificar un acelerograma real de modo que fuera compatible con el espectro de respuesta de diseño. La modificación se logró por la descomposición del acelerograma registrado a través del análisis “wavelet” en un número finito “time-history”, en donde el contenido de frecuencia no se sobrepone y escalando los “time-history” por las cantidades adecuadas. El procedimiento propuesto es computacionalmente eficiente como descomposición del acelerograma registrado, llevándose a cabo una única vez y con coincidencia aceptable con el espectro objetivo, logrado después de cerca de 6-8 iteraciones.⁴

Montejo (2004), presentó un método alternativo para lograr la compatibilidad con un espectro objetivo, basado en la transformada “wavelet” para descomponer el registro original en detalles y escalarlos en determinados periodos. El método logra la compatibilidad, sin embargo, los contenidos de frecuencia de los registros generados frente a los originales presentaban cierta diferencia, donde se aumenta el peso de los componentes con una frecuencia alrededor de los 15 Hz y se visualiza una concentración entre los 0-10 Hz. Las frecuencias normalmente están relacionadas con la geología, tectónica y las características de la fuente de los sismos seleccionados. El autor argumenta que, si bien esto es una falencia del método, también es una debilidad de todas las técnicas actuales y tiene como ventaja que el procedimiento es más cercano al conservar algunas características parcialmente en el acelerograma modificado, que otros métodos que usan ondas sinusoidales con contenido de frecuencia arbitrarios y fases aleatorias.

⁴ ACEVEDO, Ana B. Criterios sismológicos para seleccionar acelerogramas reales de la red nacional de acelerógrafos de Colombia para su uso en análisis dinámicos, Revista EIA, Medellín, CO., 2012.

ANÁLISIS CRONOLÓGICO LINEAL

Este tipo de análisis consiste en someter a la estructura a movimientos sísmicos reales registrados en función del tiempo y puede ser usado también para el diseño de la edificación. Se usa cuando éste describe el comportamiento dinámico de la estructura de manera adecuada y conduce a resultados confiables según el criterio del ingeniero. En este caso, el Reglamento nacional exige el uso de mínimo 3 acelerogramas diferentes que representen adecuadamente los movimientos esperados en el lugar de estudio, seleccionando como resultado de diseño el valor máximo, es decir el más crítico. Para el caso en el que se usen 7 o más acelerogramas, debe escogerse el valor promedio de los valores obtenidos de todos los acelerogramas para cualquier dirección.

Un análisis estructural es el procedimiento que lleva la determinación de la respuesta del sistema estructural ante la sollicitación de las acciones externas que puedan incidir sobre dicho sistema. La respuesta de una estructura o de un elemento es su comportamiento bajo una acción determinada; está en función de sus propias características y puede expresarse en función de deformaciones, agrietamiento, vibraciones, esfuerzos, reacciones, etc.⁵

Para obtener dicha respuesta se requiere considerar los siguientes aspectos:

Idealización de la estructura.

Seleccionar un modelo teórico y analítico factible de ser analizado con los procedimientos de cálculo disponible. La selección del modelo analítico de la estructura puede estar integrado de las siguientes partes:

I.- Modelo geométrico. Esquema que representa las principales características geométricas de la estructura.

⁵ HUSID LERNER, Roberto. TERREMOTOS: Análisis espectral y características de acelerogramas como base del diseño sísmico, Editorial Andrés Bello, Santiago de Chile, CL., 1973.

II.- Modelo de las condiciones de continuidad en las fronteras. Debe establecerse como cada elemento está conectado a sus adyacentes y cuáles son las condiciones de apoyo de la estructura.

III.- Modelo del comportamiento de los materiales. Debe suponerse una relación acción - respuesta o esfuerzo - deformación del material que compone la estructura.

IV.- Modelo de las acciones impuestas. Las acciones que afectan la estructura para una condición dada de funcionamiento se representan por fuerzas o deformaciones impuestas.

Determinar las acciones de diseño

En muchas situaciones las cargas y otras acciones que introducen esfuerzos en la estructura están definidos por los reglamentos de las construcciones y es obligación del diseñador sujetarse a ellos y definir a detalle la estructura y revisar si se cumple con los requisitos de seguridad adoptados.

La metodología de análisis dinámico cronológico puede ser utilizada cuando a juicio del ingeniero diseñador ella describe adecuadamente las propiedades dinámicas de la estructura y conduce a resultados representativos de los movimientos sísmicos de diseño. El modelo matemático empleado puede ser linealmente elástico o inelástico.⁶

⁶ AIS, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente (NSR-10), Título A, Bogotá D.C., CO., 2010.

7.2 MARCO CONCEPTUAL

Acelerograma: Un acelerograma es una serie temporal o cronológica de valores de aceleración que se han registrado durante un sismo. Permite obtener un gráfico denominado acelerograma, el cual muestra la variación de las aceleraciones en función del tiempo.

Amenaza sísmica: Fenómeno físico asociado con un sismo, tal como el movimiento fuerte del terreno o la falla del mismo, que tiene el potencial de producir una pérdida.

Análisis estructural: Se entiende por análisis de una estructura el proceso sistemático que concluye con el conocimiento de las características de su comportamiento bajo un cierto estado de cargas; se incluye, habitualmente, bajo la denominación genérica de estudio del comportamiento tanto el estudio del análisis de los estados tensional y deformacional alcanzados por los elementos y componentes físicos de la estructura como la obtención de conclusiones sobre la influencia recíproca con el medio ambiente o sobre sus condiciones de seguridad.

Análisis cronológico: Este tipo de análisis consiste en someter a la estructura a movimientos sísmicos reales registrados en función del tiempo y puede ser usado también para el diseño de la edificación.

Espectro de respuesta: Respuesta máxima a un acelerograma de un grupo de sistemas amortiguados de un solo grado de libertad, que se gráfica en función del período o de la frecuencia natural no amortiguada del sistema. (AIS, 2009).

Grados de libertad: El número de grados de libertad se refiere al número mínimo de parámetros que necesitamos especificar para determinar completamente la velocidad de un mecanismo o el número de reacciones de una estructura.

Intensidad sísmica: La intensidad es una medida de los efectos de un sismo sobre un área determinada. La intensidad es una medida subjetiva y conforme uno se aleja del epicentro, esta tiende a disminuir.

Magnitud de un sismo: La magnitud de un sismo es una medida de su tamaño. Es un dato objetivo, es decir, es el mismo en cualquier parte del mundo donde se calcule.

Microzonificación sísmica: Conjunto de actividades necesarias para determinar los niveles de amenaza sísmica y respuesta sísmica de los terrenos de un área de interés.

Modelo matemático: El análisis del comportamiento mecánico de una estructura se lleva a cabo sobre modelos de ésta, entendiendo por modelo una idealización de algunos aspectos, probablemente parciales, de la realidad física y funcional de la estructura. Los modelos se utilizan para predicción de esfuerzos, tensiones, movimientos y deformaciones y es por lo que han de recoger la utilidad funcional del sólido, sus formas geométricas y su comportamiento.

Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia: El objetivo principal de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC) es llevar a cabo el registro de los sismos intensos que ocurren en el territorio nacional. Además, se realizan estudios sobre el comportamiento local de los suelos de las principales ciudades ante la eventual ocurrencia de sismos intensos (efecto local), los cuales son de gran importancia ya que permite establecer el grado de respuesta sísmica de las edificaciones. Los estudios de efectos locales se realizan mediante la instalación de acelerógrafos en roca y en suelo. Sin embargo, deben complementarse con la instalación de Redes Locales de Acelerógrafos en las principales ciudades del país,

lo que permite realizar un registro detallado de la respuesta sísmica de los diferentes suelos.

Con la operación de la red portátil de acelerógrafos es posible realizar estudios de réplicas de sismos intensos, con el fin de obtener información sobre el comportamiento sísmico de los eventos cercanos al epicentro. Esto permite estudiar los patrones de movimiento del terreno en el campo cercano, el cual tiene gran importancia en la determinación de la amenaza sísmica local, para grandes proyectos de infraestructura, estableciendo la condición crítica para el diseño sismo resistente de dichas obras.

Sismo/Terremoto: Vibración de la corteza terrestre causada por la liberación abrupta de energía acumulada en la litosfera de la tierra. El movimiento causado por el sismo puede variar desde un movimiento violento en algunos lugares hasta un movimiento imperceptible en otros. (AIS, 2009).

7.3 ESTADO DEL ARTE

El diseño estructural por el método de análisis cronológico, utilizando familias de acalogramas es poco utilizado, ya que es un método que no se enseña en las universidades, aunque en la NSR-10 tocan el tema y dan las pautas y los lineamientos que tiene que cumplir, no es muy específico a comparación de los otros dos métodos de diseño estructural como lo son la Fuerza Horizontal equivalente y el análisis espectral modal.

En la ciudad de Cali (Valle del Cauca), se realizó un diseño por el método de análisis cronológico, creando también una familia de acalogramas que simularan de la mejor manera los movimientos que se esperan en la ciudad de Cali.

Se generaron acalogramas artificiales compatibles con el espectro sísmico de la NSR-10 para Cali ubicada en una zona de alta amenaza sísmica, debido a que el

suroccidente de Colombia los registros de acelerogramas de terremotos fuertes son escasos. Esta metodología especifica el uso del registro original para descomponerlo en un número adecuado de funciones llamadas “detalles”.

Se reconstruyó la señal escalando estos detalles anteriormente mencionados, de tal forma que el espectro de respuesta de la señal generada concuerde al espectro de diseño. Esto se realizó con ayuda de un algoritmo numérico utilizando el software MATLAB.

Se observaron que los acelerogramas generados eran compatibles con porcentajes de error menor al 5% con un máximo de 9 iteraciones. Finalmente se compararon los resultados de un análisis dinámico lineal con el acelerograma generado y un análisis modal espectral con ayuda de programas como ETABS Y SAP2000, y se observó que existe una proporcionalidad entre los resultados.

8. METODOLOGÍA

Para abordar el desarrollo y proceso planteado en el presente trabajo de investigación, se realizará la siguiente metodología que ayudará a desarrollar las actividades y que conllevarán al éxito de culminar el producto final.



9. DESARROLLO

EVALUACION DE LA AMENAZA SISMICA

Colombia está ubicada en un punto donde interactúan tres placas tectónicas (porciones de litósfera o parte superior de la tierra sólida que forman un bloque rígido sin deformaciones internas). Las placas Nazca, suramericana y Caribe se chocan principalmente en las costas Pacífica y Atlántica del país y, por sus constantes roces, se crea un sistema de fallas geológicas en los que se libera frecuentemente energía en forma de sismos.

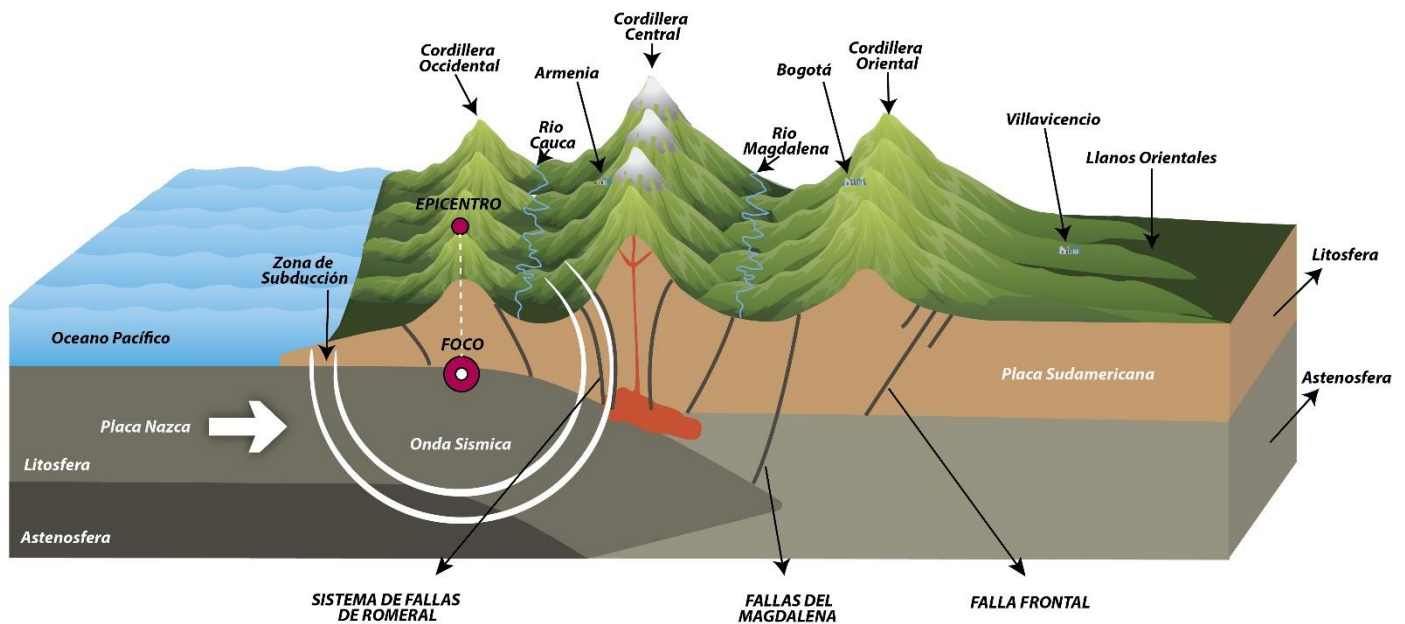
Figura 1. Localización Fallas Geológicas en Colombia



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2017

En el caso específico de Bogotá D.C., que ha sufrido tres sismos de gran magnitud, existen tres fallas principales que pueden ser serias amenazas: la falla Frontal de la Cordillera Oriental, la falla del Magdalena y la falla de Piedemonte Llanero, siendo esta ultima la fuente sísmica activa más cercana a la ciudad, ubicada aproximadamente a 40 km de distancia y tiene potencial de generar sismos de magnitudes importantes, por lo que estudios de amenaza sísmica de Colombia han determinado que la ciudad capital este en una zona de amenaza sísmica intermedia, adicionalmente, la ciudad de Bogotá D.C. cuenta con estudios detallados de respuesta sísmica o microzonificación sísmica, cuyo objeto es evaluar los efectos (amplificación o de-amplificación) que producen los depósitos de suelo y la topografía del terreno a las ondas sísmicas y zonificarlos en zonas de respuesta sísmica homogénea.

Figura 2. Transmisión De Ondas Sísmicas



Fuente. Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático IDIGER, 2016

El monitoreo de la respuesta sísmica de los terrenos de la ciudad se realiza mediante la **Red de Acelerógrafos de Bogotá** operada por el IDIGER, la cual brinda información de los sismos sentidos en la ciudad en diferentes áreas de la ciudad para mejorar el conocimiento de la respuesta sísmica y en caso de un sismo

fuerte estimar rápidamente posibles afectaciones, así como suministrar los acelerogramas del evento ocurrido, datos necesarios para el desarrollo del análisis cronológico.

RIESGO SISMICO

El riesgo sísmico es la posibilidad de que ocurran en un lugar específico daños a las construcciones, afectaciones a la población y pérdidas económicas por un evento sísmico. Para estimar el nivel de riesgo sísmico en un lugar hay varias metodologías que en general tienen en cuenta tres componentes básicas que son la amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta.

La amenaza sísmica se define como el valor de la amenaza del ambiente sismotectónico de la zona y las condiciones locales de los suelos. El riesgo sísmico es mayor en las zonas donde la amenaza sísmica es más alta.

La vulnerabilidad sísmica de las construcciones e infraestructura se representa por la capacidad para resistir daño o afectación frente a la amenaza sísmica, es decir que un elemento con baja vulnerabilidad es capaz de resistir altos niveles de amenaza, en cambio un elemento con alta vulnerabilidad tiene poca resistencia para absorber la fuerza de la amenaza, por lo que puede sufrir daños fácilmente; por tanto, el riesgo sísmico se reduce cuando la vulnerabilidad sísmica es baja.

Y finalmente, la capacidad de respuesta hace referencia a la capacidad de la sociedad (instituciones y población) para reaccionar adecuadamente en los instantes de emergencia y responder al impacto, controlarlo y recuperarse, es decir que una sociedad con alta capacidad de respuesta reflejado en su buena preparación, organización, recursos para atender una emergencia, capacidad económica y de gestión para recuperarse, sufrirá un menor impacto que una sociedad con baja capacidad de respuesta; luego el riesgo sísmico se reduce cuando la capacidad de respuesta de la sociedad es más alta.

RED DE ACELERÓGRAFOS DE BOGOTÁ D.C. - RAB

El Sistema Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático SDGR-CC, ente supervisado por la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., con el fin de coordinar el sistema de prevención y atención de emergencias, crearon planes de gestión del riesgo y dentro de dicho planes y como objetivo principal mejorar el conocimiento de la amenaza sísmica a la que está expuesta la ciudad, implanto la Red de Acelerógrafos de Bogotá (RAB), que tiene como función principal registrar la historia de las aceleraciones producidas en el terreno cuando se presenten sismos fuertes o de gran magnitud.

Estos registros brindan información acerca del comportamiento dinámico del subsuelo, esto con el fin de mejorar el conocimiento de la amenaza y riesgo sísmico de la ciudad y para ser empleada en los procesos que se puedan adelantar de actualización de normatividad existente.

Figura 3. Estaciones de Monitoreo



Fuente. Autores, 2018

Esta red fue instalada en un convenio interadministrativo suscrito en junio de 1997 entre el fondo de Prevención y Atención de Emergencias FOPAE hoy llamado IDIGER, y el Instituto de Investigaciones en Geociencia, Minería y Química INGEOMINAS, donde adquirieron e instalaron un total de 30 acelerógrafos digitales marca KINEMETRICS, los cuales fueron distribuidos en toda la ciudad para de esta manera conformar la Red de Acelerógrafos de Bogotá (RAB); de estos aparatos, 28

son modelo ETNA y los 2 restantes son modelo K2. Entre los años 2012 y 2014 se renovaron 12 equipos ETNA por los modelos BASALT de reciente tecnología, que aumentaban la capacidad de almacenamiento de datos y proporcionaba mayor versatilidad en su sistema de comunicaciones con la posibilidad de tener en tiempo real las señales. En la siguiente tabla se resumen la localización de cada estación y sus características principales.

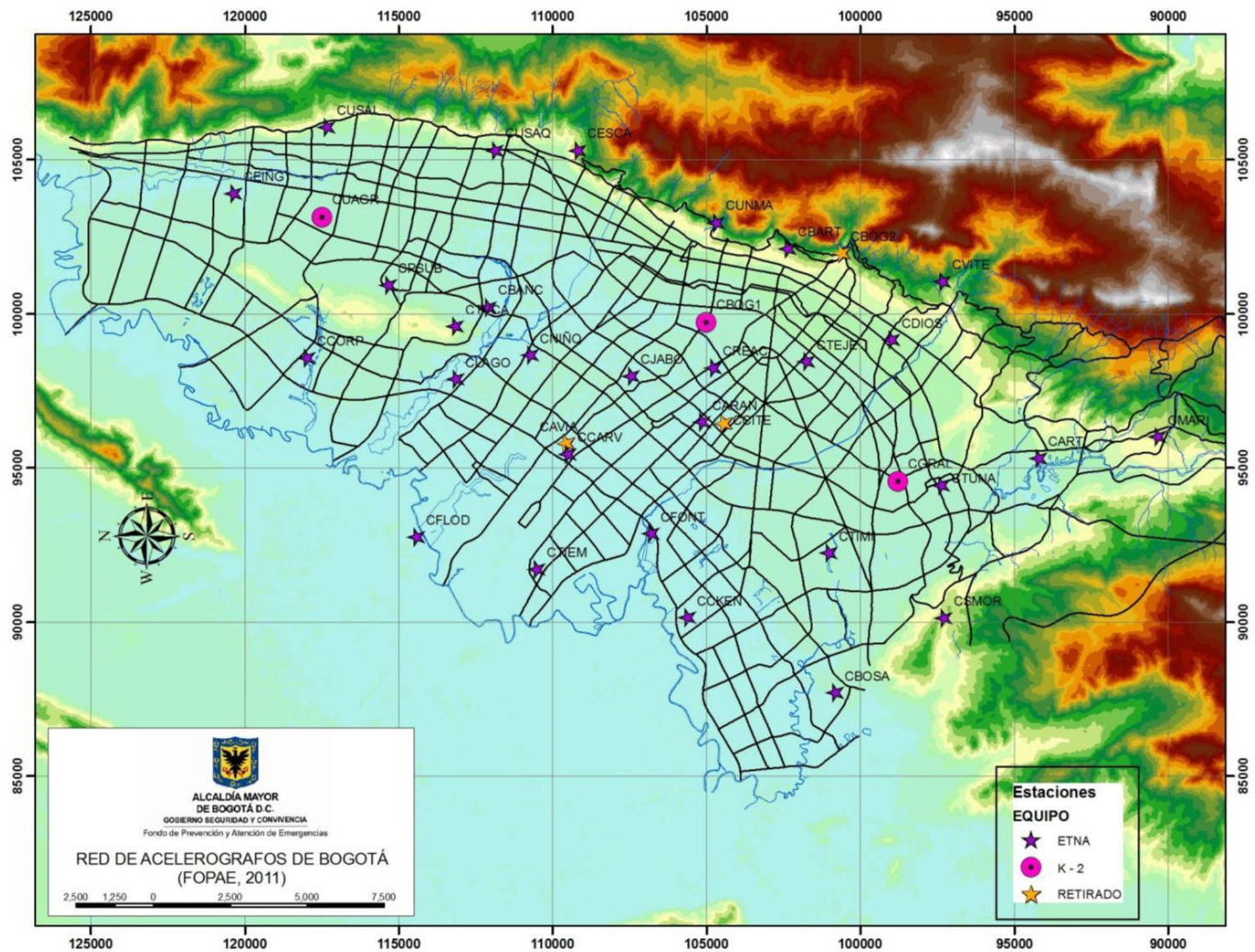
Tabla 1. Descripción de las estaciones de acelerógrafos

No.	COD	NOMBRE	DIRECCION	LAT. N	LONG. E	EQUIPO	GEOLOGIA	ESTADO
1	CEING	ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA	Avenida 13 No. 205-59	4.7835	-74.0459	ETNA	SUELO	Activa
2	CUSAL	UNIVERSIDAD DE LA SALLE	Carrera 7 No. 172 - 85	4.7558	-74.0266	ETNA	SUELO	Activa
3	CBOSA	COLEGIO FERNANDO MAZUERA	Calle 68 A Sur No 80 H -05	4.6065	-74.1921	ETNA	SUELO	Activa
4	CCORP	UNIVERSIDAD CORPAS	Av. Corpas, Km. 3, Vía Suba	4.7619	-74.0937	ETNA	SUELO	Activa
5	CUAGR	UNIAGRARIA	Calle 170 No. 50-90	4.7541	-74.0527	K - 2	SUELO/ ROCA	Activa
6	CPSUB	ACADEMIA DE POLICIA	Av. Boyacá No 142 A - 55	4.7378	-74.0725	ETNA	ROCA	Activa
7	CUSAQ	COLONIA ESCOLAR DE USAQUEN	Calle 127 No. 12 A - 20	4.7064	-74.0334	ETNA	SUELO	Activa
8	CESCA	ESCUELA DE CABALLERIA	Carrera 7 No 106 - 00	4.6821	-74.0337	ETNA	SUELO	Activa
9	CBANC	BANCO DE LA REPUBLICA	Carrera 57 No 120-01	4.7085	-74.0789	ETNA	SUELO	Activa
10	CTVCA	T.V. CABLE	Diagonal 120 No.86-75 (Cerro Suba, Altos de Sotileza Km.2)	4.7179	-74.0847	ETNA	ROCA	Activa
11	CFLOD	PARQUE LA FLORIDA	Km. 3, vía Engativá- Cota	4.7297	-74.1464	ETNA	SUELO	Activa
12	CFONT	PLANTA DE BOMBEO FONTIBON	Carrera 96 No. 10-00 (Río Fucha)	4.6608	-74.1456	ETNA	SUELO	Activa
13	CNIÑO	CENTRO DE ESTUDIOS DEL NINO	Carrera 76 No 79-40	4.6959	-74.093	ETNA	SUELO	Activa
14	CJABO	JARDÍN BOTANICO	Av. Calle 63 No. 68-95	4.6664	-74.0993	ETNA	SUELO	Activa
15	CBART	COLEGIO SAN BARTOLOME	Carrera 5 No. 34-00	4.6199	-74.0619	ETNA	ROCA	Activa
16	CUNMA	UNIVERSIDAD MANUELA BELTRAN	Av. Circunvalar No 60-00.	4.6416	-74.0539	ETNA	SUELO	Activa
17	CDIOS	HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS	Carrera 10 No. 0-50	4.59	-74.0884	ETNA	SUELO	Activa
18	CTIEM	CLUB EL TIEMPO	Calle 32 No. 125-01	4.6943	-74.1559	ETNA	SUELO	Activa
19	CTIMI	PARQUE TIMIZA	Diagonal 42 Sur No. 62-67	4.6083	-74.151	ETNA	SUELO	Activa
20	CTUNA	PARQUE TUNAL	Calle 48 Sur - Av. El tunal Calle 48 B sir No. 22 A - 70	4.5752	-74.1311	ETNA	SUELO	Activa
21	CARTI	ESCUELA DE ARTILLERIA	Av. Caracas Km. 3, vía Usme - Al Frente de la Picota	4.5469	-74.1234	ETNA	SUELO	Activa
22	CMARI	BOMBEROS MARICHUELA	Carrera 1A No 76A-00 Bis sur	4.512	-74.117	ETNA	SUELO	Activa
23	CSMOR	COLEGIO SIERRA MORENA	Calle 77A Sur 65-15 Sierra Morena	4.5745	-74.17	ETNA	ROCA	Activa
24	CTEJE	ESCUELA DE TEJEDORES	Carrera 32 No 12-55	4.6147	-74.0949	ETNA	SUELO	Activa

25	CVITE	TANQUES DE VITELMA	Av. Circunvalar con Calle 9 sur. Calle 9 Sur No. 9-00 Este	4.5752	-74.0717	ETNA	SUELO	Activa
26	CLAGO	COLEGIO LAUREANO GOMEZ	Calle 90 A No 95 D -56	4.7177	-74.1002	ETNA	SUELO	Activa
27	CGRAL	ESCUELA GENERAL SANTANDER	Calle 44 Sur 45A-15	4.5879	-74.1301	K - 2	SUELO/ROCA	Activa
28	CCKEN	COL-KENNEDY	Calle 38 Sur No 94 C -29 Calle 38C Sur No 107 C-29	4.6458	-74.1723	ETNA	SUELO	Activa

Fuente. Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático IDIGER, 2018

Figura 4. Localización de las Estaciones de la RAB



Fuente. Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático IDIGER, 2011

10. INTERPRETACIÓN DE DATOS.

- ✓ **Descripción del sismo:** Se encuentran datos de referencia en lugares similares de la misma caracterización de los suelos de Bogotá, fecha, magnitud del evento, coordenadas del evento sísmico y profundidad.

- ✓ **Datos de la estación:** Incluye el código de la estación, así como su nombre, la geología, topografía y coordenadas de la estación.

- ✓ **Datos del acelerograma:** Nos muestra datos tales como el intervalo de muestreo, el número de datos, la duración del acelerograma, las unidades de los datos, tipo de equipo, la escala máxima del equipo, corrección de línea base, el tipo de datos.

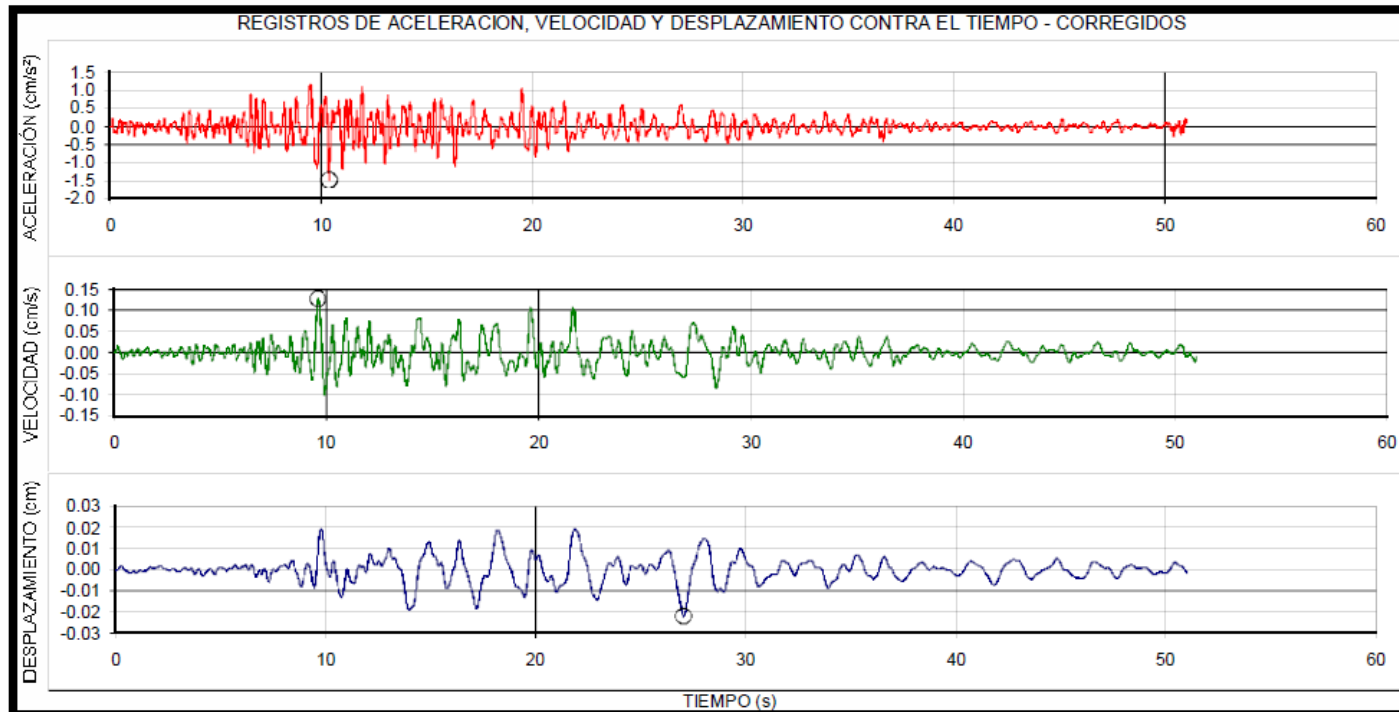
- ✓ **Familia de acelerogramas:** a continuación, se presentan los 7 acelerogramas que conformaran la familia de acelerogramas, la cual servirá como base para conocer el comportamiento que experimentara la ciudad de Bogotá D.C. en un eventual sismo.

Tabla 2. Datos Generales Sismo No. 1

LOCALIZACION EPICENTRO	TIEMPO DE ORIGEN	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD
ALVARADO (TOLIMA)	01/04/2018	04:23 UTC	4.66°N	-74.96°E
PROFUNDIDAD	MAGNITUD ML	ESTACION DE REGISTRO	APARATO DE REGISTRO	GEOLOGIA
SUPERFICIAL	1,0	ESCUELA INGENIERIA	ETNA	SUELO Y ROCA

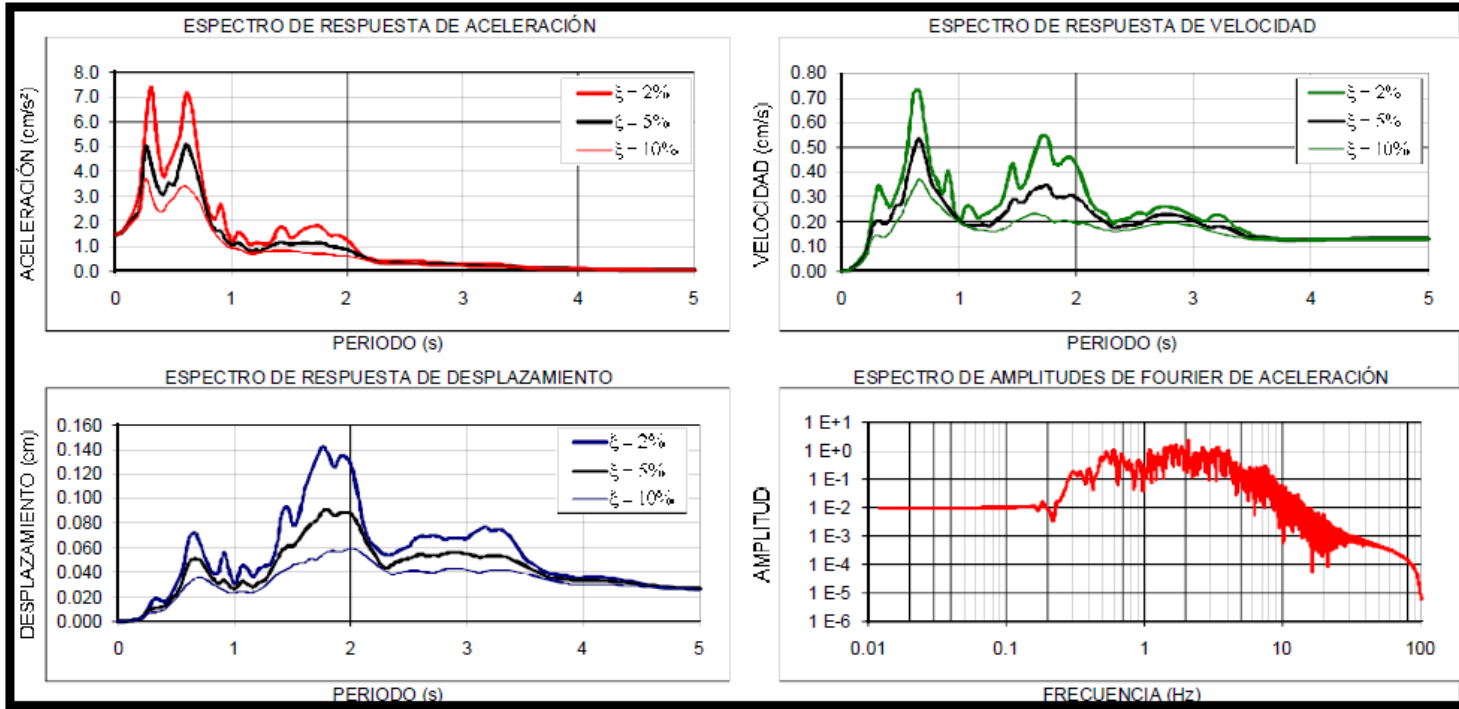
Fuente. Autores, 2018

Figura 5. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 1



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Figura 6. Espectros de Respuesta Sismo No. 1



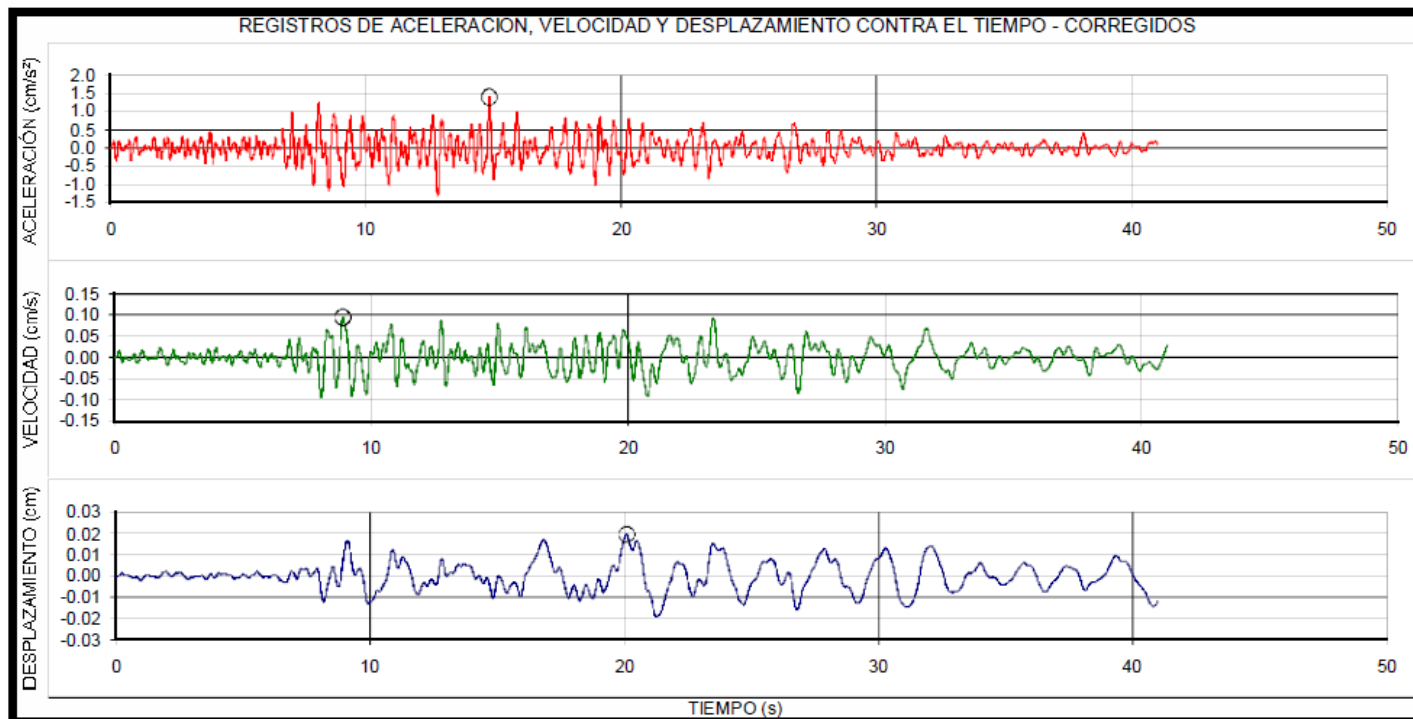
Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Tabla 3. Datos Generales Sismo No. 2

LOCALIZACION EPICENTRO	TIEMPO DE ORIGEN	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD
LENGUAZAQUE (CUNDINAMARCA)	28/04/2018	01:06 UTC	5.28°N	-73.74°E
PROFUNDIDAD	MAGNITUD ML	ESTACION DE REGISTRO	APARATO DE REGISTRO	GEOLOGIA
SUPERFICIAL	3.0	UNIVERSIDAD CORPAS	ETNA	SUELO Y ROCA

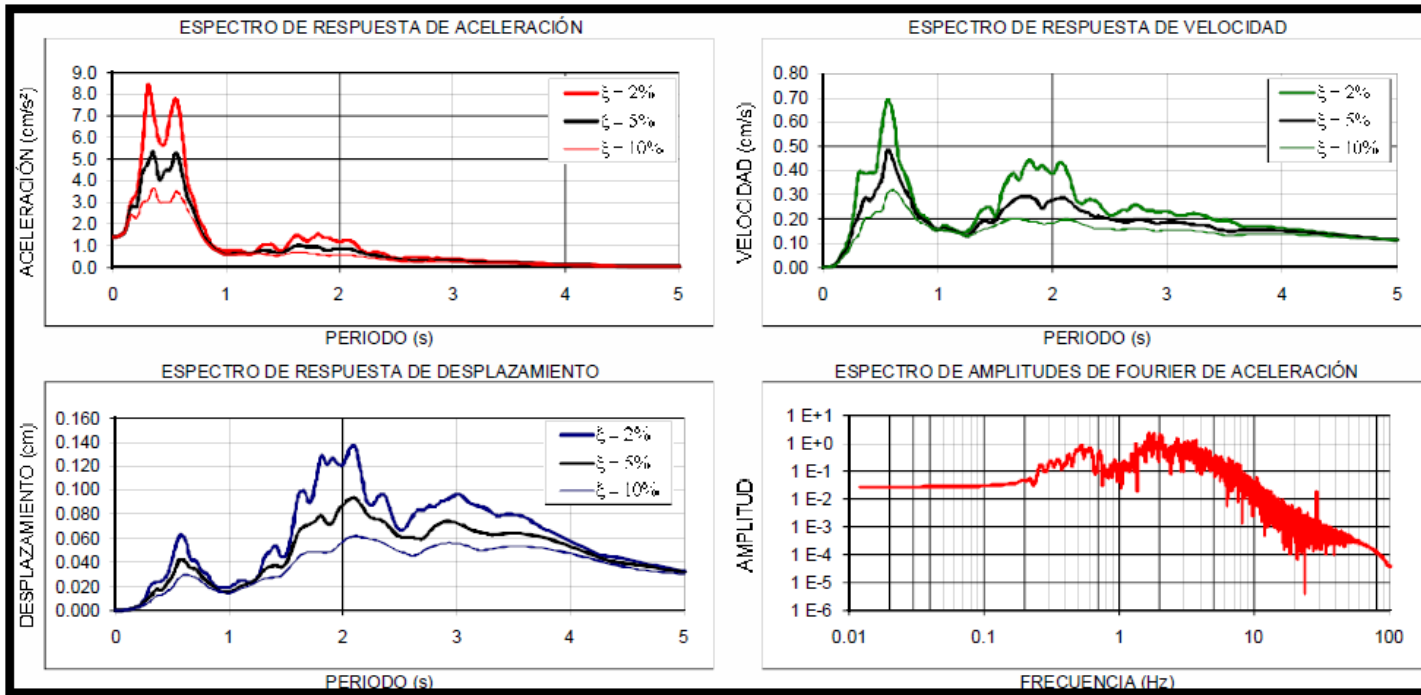
Fuente. Autores, 2018

Figura 7. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 2



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Figura 8. Espectros de Respuesta Sismo No. 2



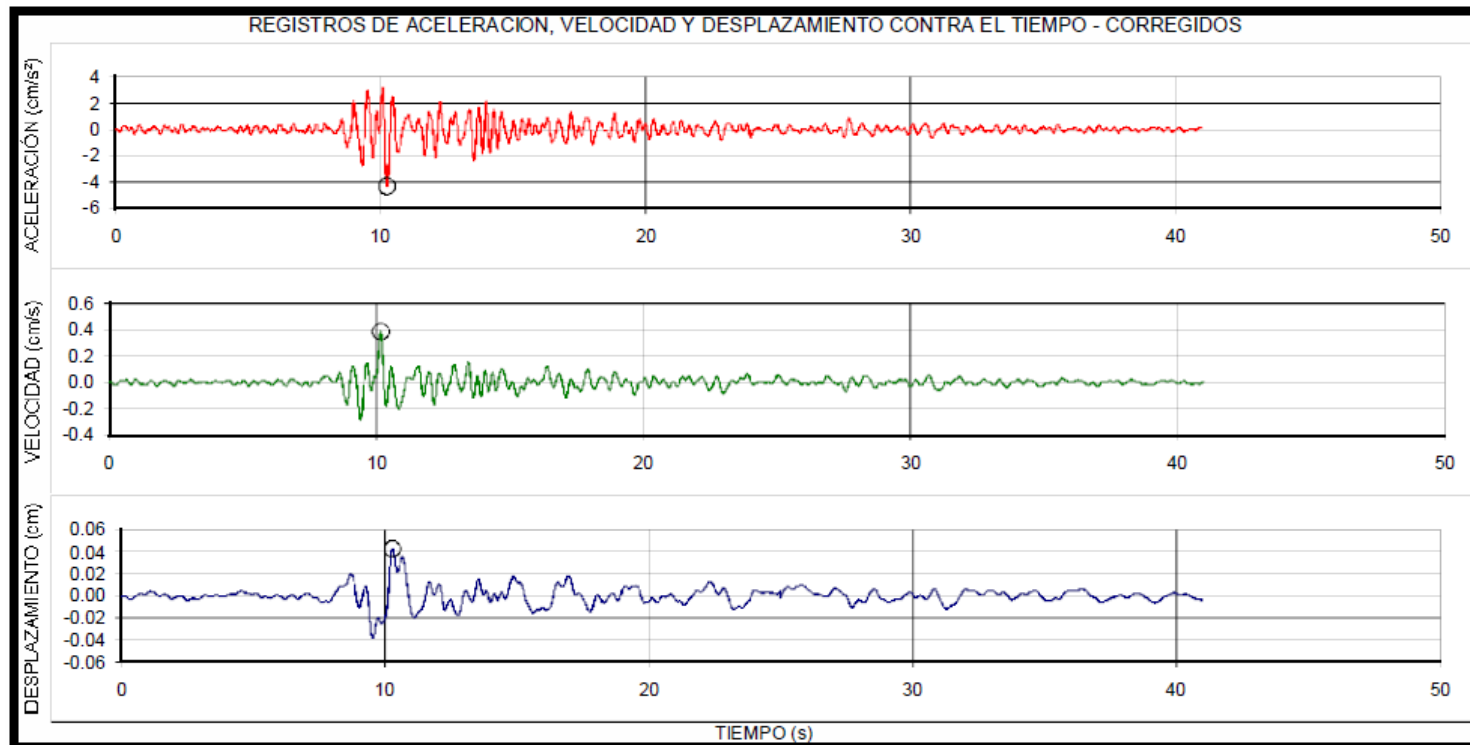
Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Tabla 4. Datos Generales Sismo No. 3

LOCALIZACION EPICENTRO	TIEMPO DE ORIGEN	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD
PULÍ (CUNDINAMARCA)	16/04/2018	20:02 UTC	4.69°N	-74.63°E
PROFUNDIDAD	MAGNITUD ML	ESTACION DE REGISTRO	APARATO DE REGISTRO	GEOLOGIA
SUPERFICIAL	2.0	BANCO DE LA REPUBLICA	ETNA	SUELO Y ROCA

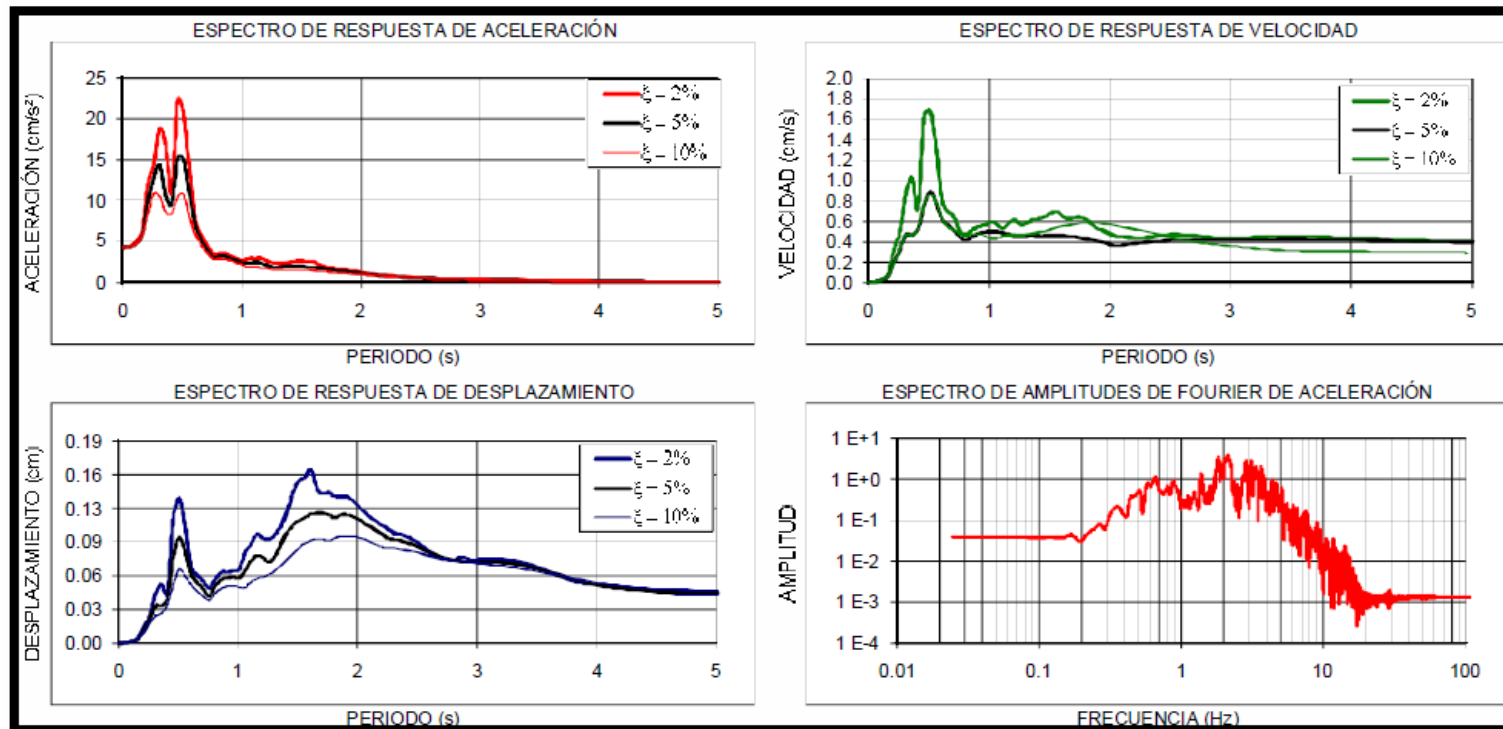
Fuente. Autores, 2018

Figura 9. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 3



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Figura 10. Espectros de Respuesta Sismo No. 3



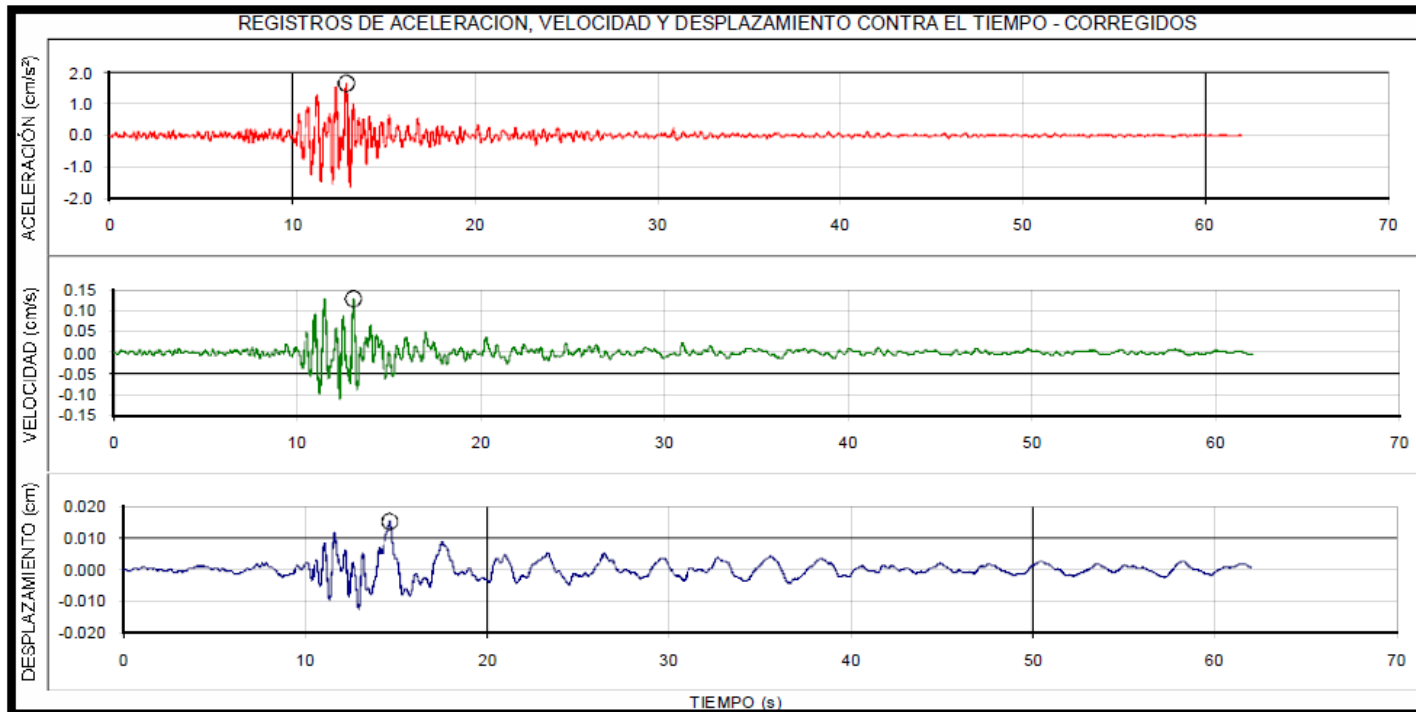
Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Tabla 5. Datos Generales Sismo No. 4

LOCALIZACION EPICENTRO	TIEMPO DE ORIGEN	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD
GUADUAS (CUNDINAMARCA)	19/04/2018	23:47 UTC	5.01°N	-74.73°E
PROFUNDIDAD	MAGNITUD ML	ESTACION DE REGISTRO	APARATO DE REGISTRO	GEOLOGIA
SUPERFICIAL	2.2	UNIVERSIDAD AGRARIA	K-2	SUELO Y ROCA

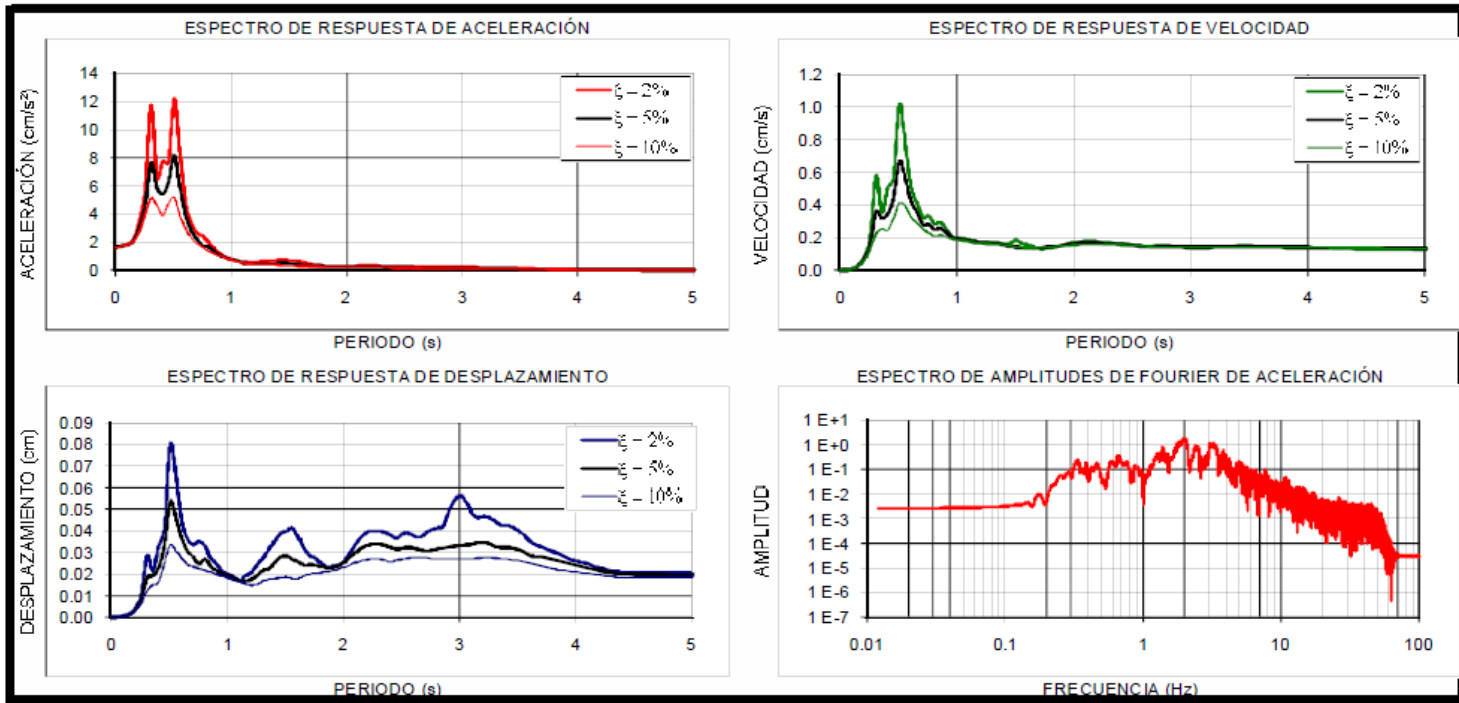
Fuente. Autores, 2018

Figura 11. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 4



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Figura 12. Espectros de Respuesta Sismo No. 4



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

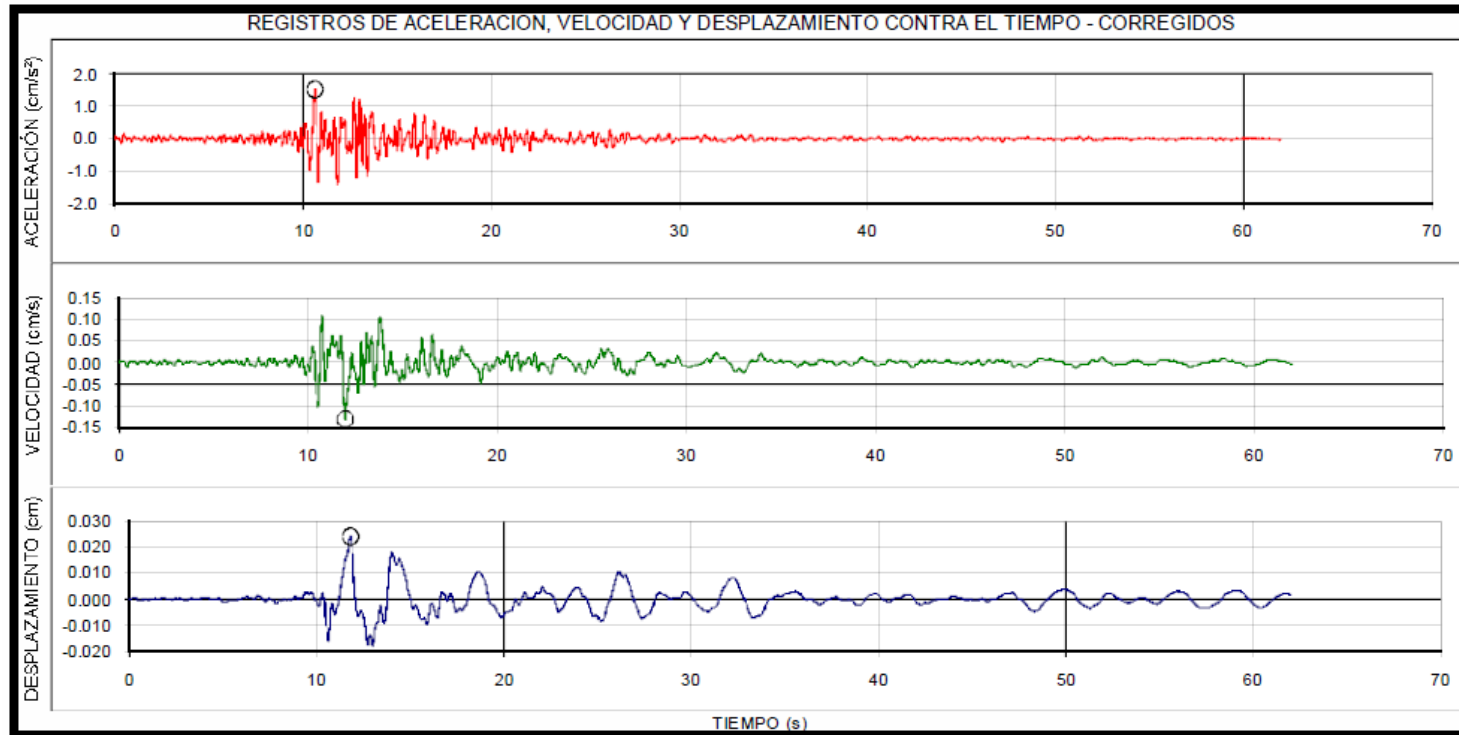
Tabla 6. Datos Generales Sismo No. 5

LOCALIZACION EPICENTRO	TIEMPO DE ORIGEN	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD
YACOPÍ (CUNDINAMARCA)	27/04/2018	22:44 UTC	5.73°N	-74.36°E

PROFUNDIDAD	MAGNITUD ML	ESTACION DE REGISTRO	APARATO DE REGISTRO	GEOLOGIA
SUPERFICIAL	1.2	UNIVERSIDAD AGRARIA	K-2	SUELO Y ROCA

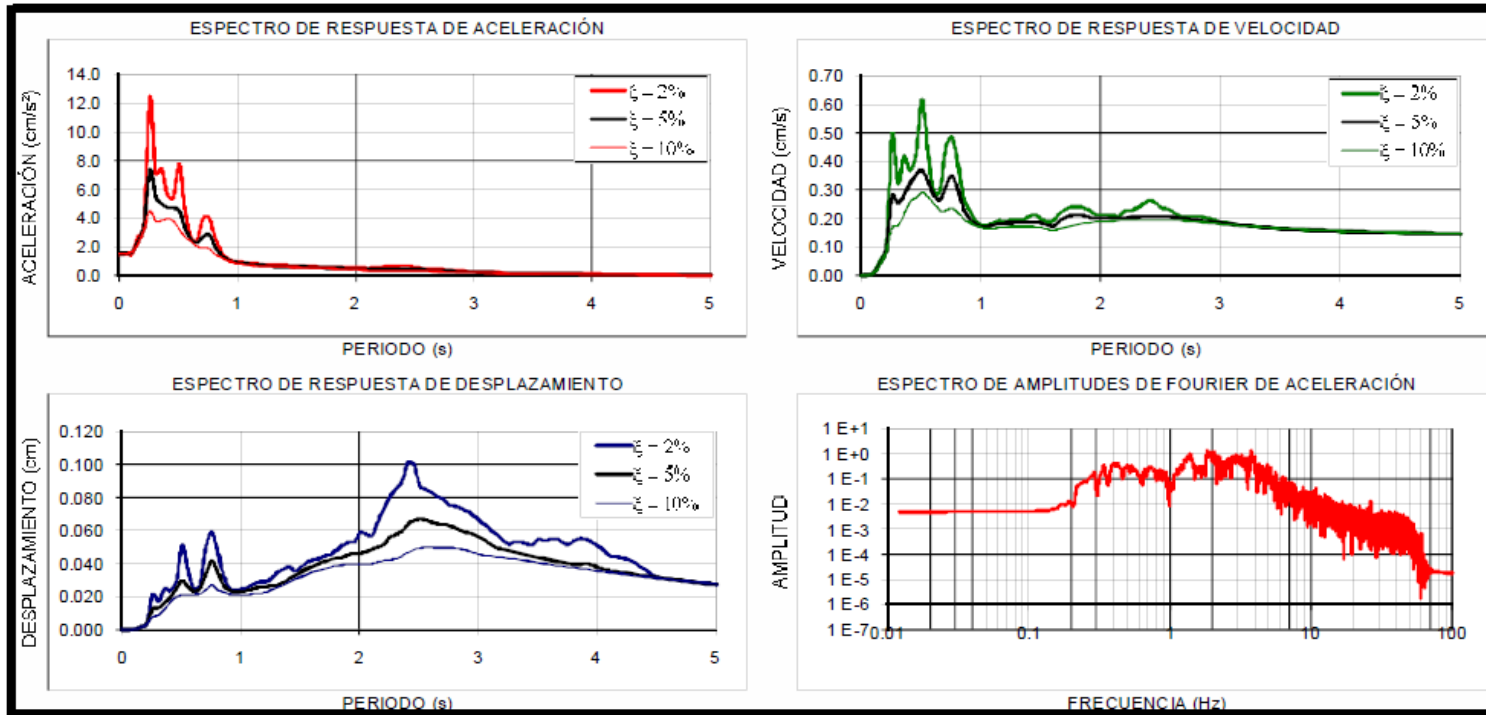
Fuente. Autores, 2018

Figura 13. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 5



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Figura 14. Espectros de Respuesta Sismo No. 5



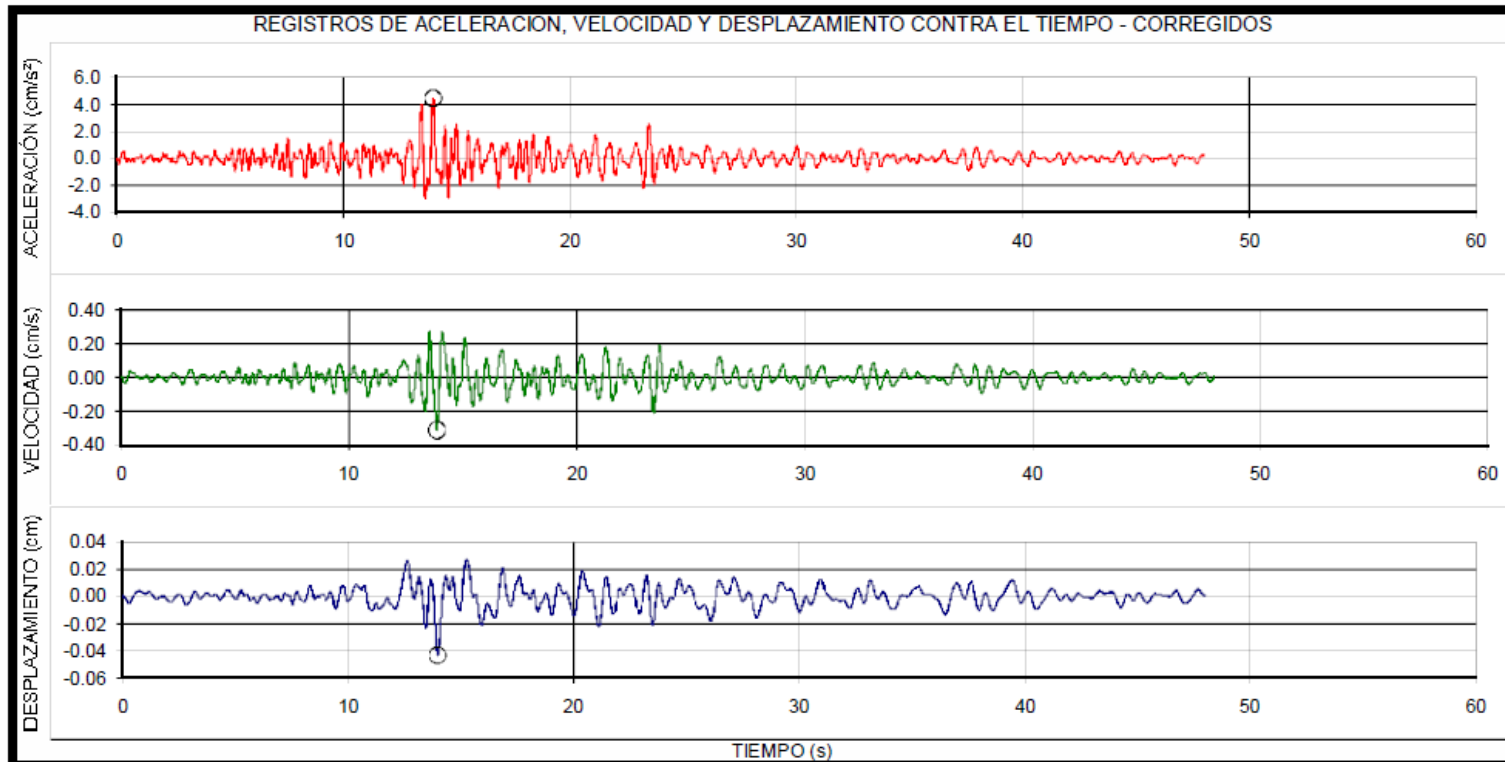
Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Tabla 7. Datos Generales Sismo No. 6

LOCALIZACION EPICENTRO	TIEMPO DE ORIGEN	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD
VENADILLO (TOLIMA)	19/04/2018	16:50 UTC	4.71°N	-74.83°E
PROFUNDIDAD	MAGNITUD ML	ESTACION DE REGISTRO	APARATO DE REGISTRO	GEOLOGIA
SUPERFICIAL	3.2	COLONIA ESCOLAR USAQUEN	ETNA	SUELO Y ROCA

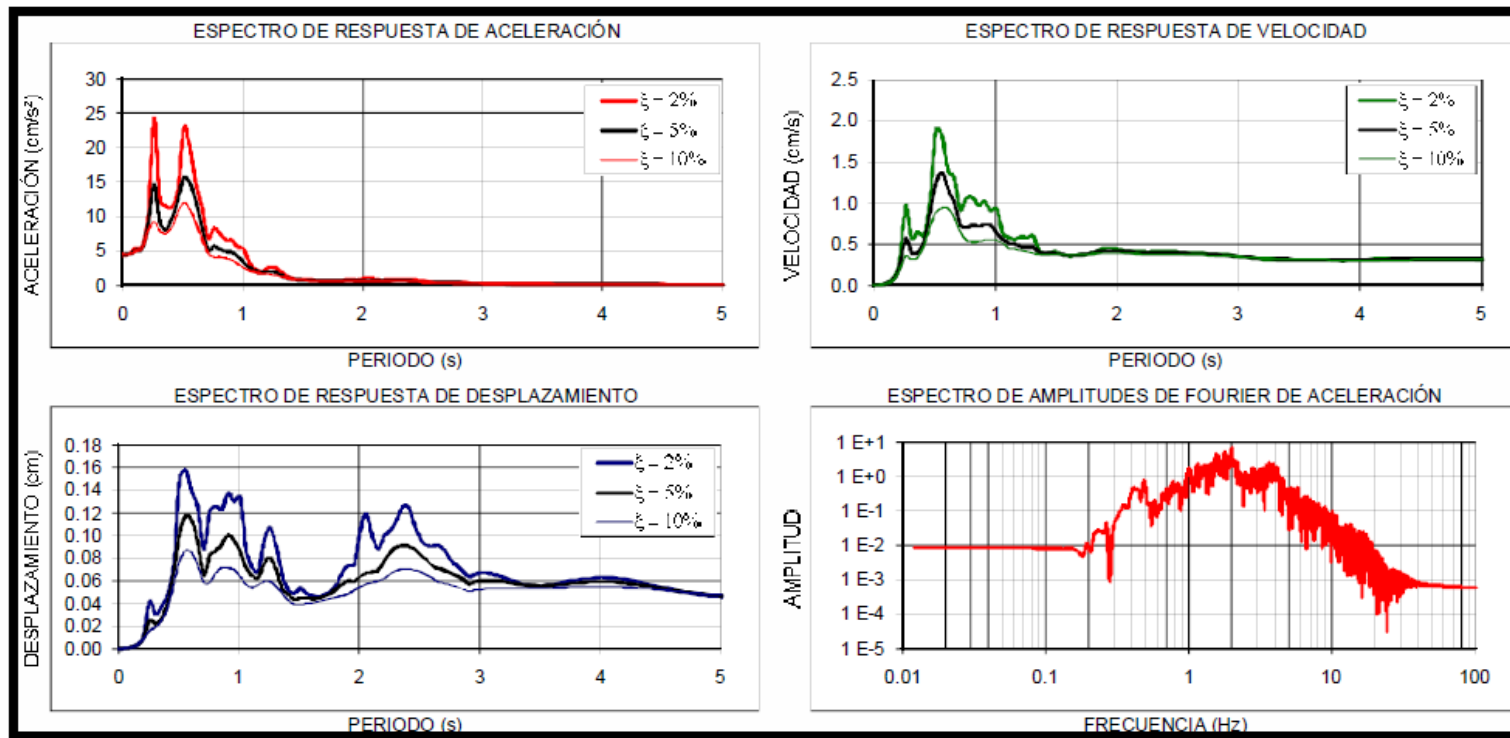
Fuente. Autores, 2018

Figura 15. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 6



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Figura 16. Espectros de Respuesta Sismo No. 6



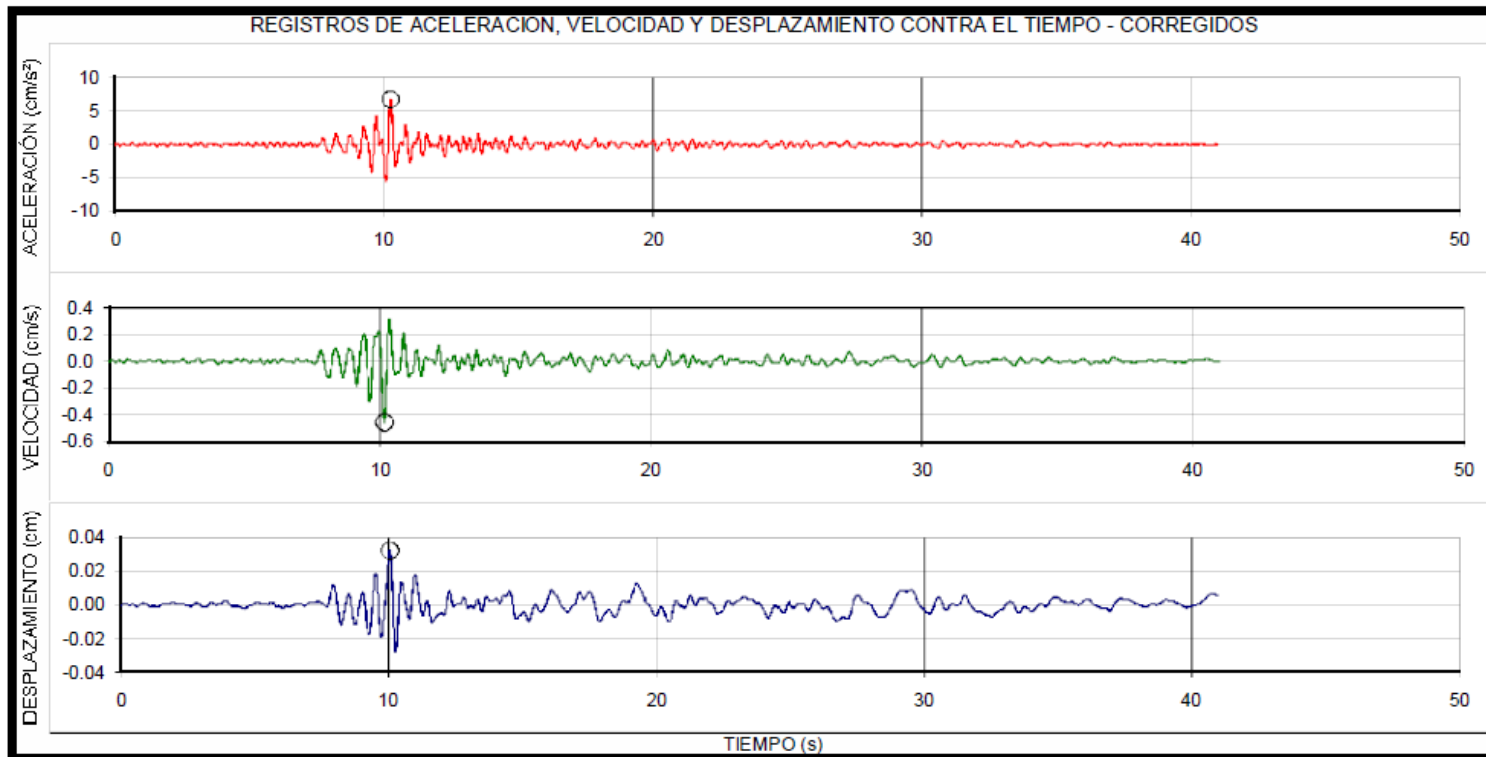
Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Tabla 8. Datos Generales Sismo No. 7

LOCALIZACION EPICENTRO	TIEMPO DE ORIGEN	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD
LA DORADA (CALDAS)	21/04/2018	09:32 UTC	5.32°N	-74.72°E
PROFUNDIDAD	MAGNITUD ML	ESTACION DE REGISTRO	APARATO DE REGISTRO	GEOLOGIA
SUPERFICIAL	2.0	COLEGIO SAN BARTOLOME	ETNA	SUELO Y ROCA

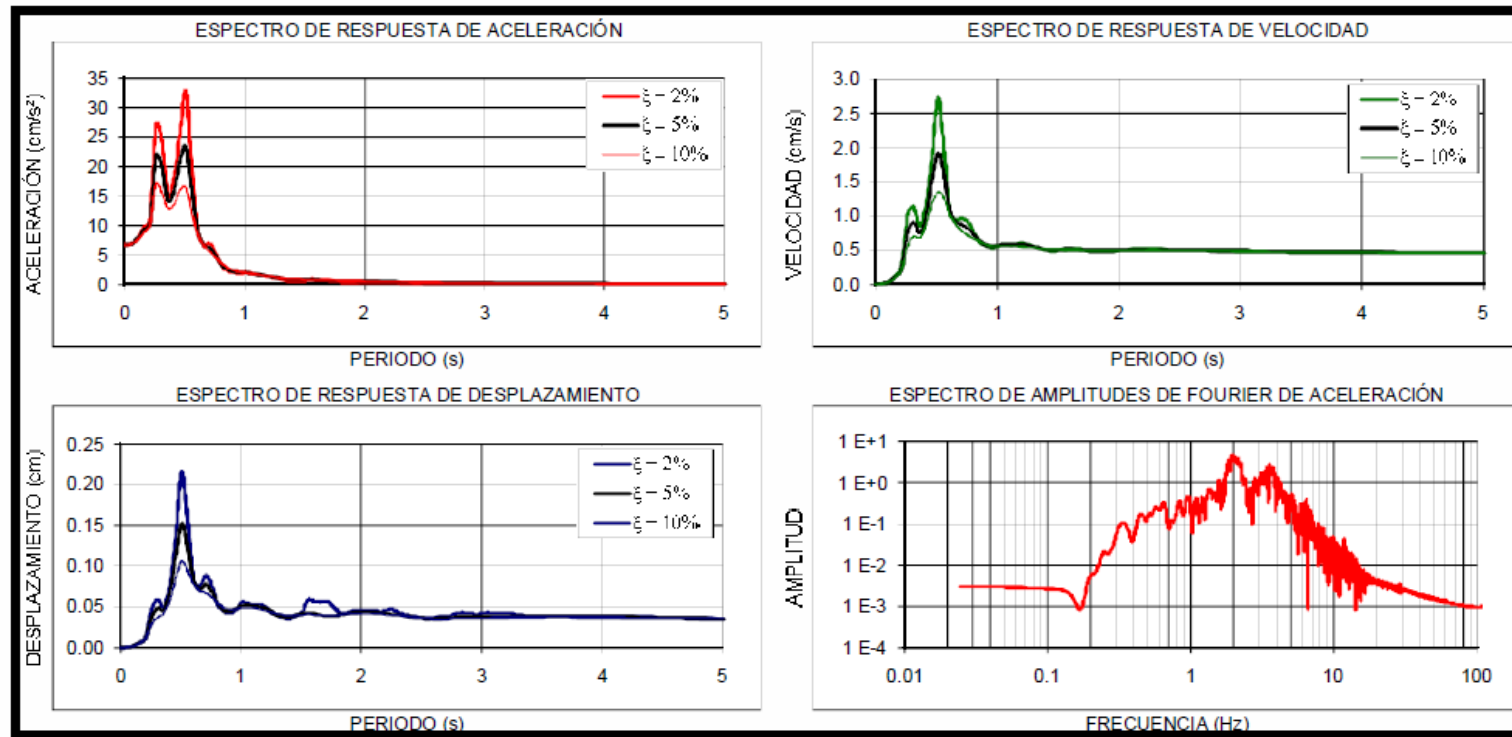
Fuente. Autores, 2018

Figura 17. Registros de Aceleración, Velocidad y Desplazamiento Sismo No. 7



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Figura 18. Espectro de Respuesta Sismo No. 7



Fuente. Servicio Geológico Colombiano, 2018

Tabla 9. Sismos Registrados por la RAB

No.	Fecha	Hora UT	Sismo	Magnitud (ML)	Profundidad	Coordenadas Epicentro		Estación que registro
						Lat. N	Long. E	
1	01/04/2018	04:23	Alvarado (Tolima)	1,00	Sup.	4,66°	-74,96°	CEING
2	28/04/2018	01:06	Lenguazaque (Cundinamarca)	3,00	Sup.	5,28°	-73,74°	CCORP
3	16/04/2018	20:02	Pulí (Cundinamarca)	2,00	Sup.	4,69°	-74,63°	CBANC
4	19/04/2018	23:47	Guaduas (Cundinamarca)	2,20	Sup.	5,01°	-74,73°	CUAGR
5	27/04/2018	22:44	Yacopí (Cundinamarca)	1,20	Sup.	5,73°	-74,36°	CUAGR
6	19/04/2018	16:50	Venadillo (Tolima)	3,20	Sup.	4,71°	-74,83°	CUSAQ
7	21/04/2018	09:32	La Dorada (Caldas)	2,00	Sup.	5,32°	-74,72°	CBART

Fuente. Autores, 2018

La razón por la que se seleccionaron estos sismos y no otros, es porque estos municipios que se encuentran en zona de amenaza sísmica intermedia, y presentan geotecnia similar a la de la ciudad de Bogotá D.C., con perfiles de suelos A, B, C, D y F, que son los tipos de perfil de suelo que predominan en Bogotá D.C., así que el comportamiento y la disipación de la energía en el suelo es similar a la de la ciudad capital.

Según lo define el reglamento NSR-10, un acelerograma es la “descripción en el tiempo de las aceleraciones a que estuvo sometido el terreno durante la ocurrencia de un sismo real”, que se obtiene por medio de un instrumento de registro denominado acelerógrafo. Una vez se da la liberación de energía generada en un evento sísmico que tiene una ubicación espacial en términos del epicentro, la profundidad, y el tiempo, se generan ondas sísmicas que viajan a través de la corteza terrestre que pueden ser registradas a diferentes distancias, con lo cual se pueden obtener diversos registros del mismo

movimiento fuerte (acelerogramas). La amplitud de los registros depende principalmente de la distancia relativa que se encuentra el instrumento de registro al evento sísmico, de las propiedades del suelo donde se ubica el acelerógrafo y de la magnitud del sismo que representa la cuantificación de la energía liberada.

El suelo de Bogotá está constituido geológicamente por depósitos de arcilla formados por la desecación de un antiguo lago, con estratos intermedios y discontinuos de arenas y suelos orgánicos. El espesor de los depósitos aumenta gradualmente desde las zonas próximas a los cerros orientales, en donde tienen pocos metros de profundidad, hasta el sector occidental de la Sabana, con sedimentos de hasta 600 m. En la parte media de la ciudad, cerca de la Universidad Nacional de Colombia, el espesor varía entre los 180 y los 200 m. Se trata de grandes capas de suelos relativamente blandos y compresibles.⁷

Por medio de estos sismos se completó la base de datos en el rango de periodos de estudio, que para la ciudad de Bogotá D.C., estos periodos van desde los 0.20 a los 0.80 seg, por la tendencia a diseñar edificaciones esbeltas y se cumplió el requisito de A.2.7.a en cuanto a que “Debe utilizarse, para efectos de diseño, la respuesta ante la componente horizontal de un mínimo de tres acelerogramas diferentes, todos ellos representativos de los movimientos esperados del terreno teniendo en cuenta que deben provenir de registros tomados en eventos con magnitudes, distancias hipocentrales o a la falla causante, y mecanismos de ruptura similares a los de los movimientos sísmicos de diseño prescritos para el lugar, pero que cumplan la mayor gama de frecuencias y amplificaciones posible.”

⁷ Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico en Bogotá D.C. obtenido 09, 2017, disponible en <http://www.idiger.gov.co/rsismico>.

Tabla 10. Compilación de los Sismos

Sismo	Fecha	Estación que registro	Magnitud (ML)	Prof.	Periodos												
					0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0			
Alvarado (Tolima)	01/04/2018	CEING	1,00	Sup.													
Lenguazaque (Cundinamarca)	28/04/2018	CCORP	3,00	Sup.													
Pulí (Cundinamarca)	16/04/2018	CBANC	2,00	Sup.													
Guaduas (Cundinamarca)	19/04/2018	CUAGR	2,20	Sup.													
Yacopí (Cundinamarca)	27/04/2018	CUAGR	1,20	Sup.													
Venadillo (Tolima)	19/04/2018	CUSAQ	3,20	Sup.													
La Dorada (Caldas)	21/04/2018	CBART	2,00	Sup.													

Fuente. Autores, 2018

Para cada periodo según el análisis anterior se cuenta con al menos tres sismos que cumplen el requisito del 80% de la aceleración. En la selección de los sismos se tomaron en cuenta criterios sismológicos como el ambiente tectónico, la distancia, la magnitud, además, de parámetros como la aceleración máxima horizontal y el periodo estructural.

Teniendo en cuenta que para algunos periodos se contó con más de tres sismos, se buscó identificar de cada grupo de sismos la mejor combinación de tres sismos que generaran un espectro de respuesta promedio que cumpliera con los requisitos de A.2.7.1.c y que a su vez fuera lo más cercano posible al espectro establecido por el reglamento NSR-10 y con la menor dispersión entre los sismos.

11. CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó la selección de sismos para su utilización en procedimientos de análisis dinámico para la ciudad de Bogotá D.C., siguiendo los requisitos presentados en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, para los espectros de respuesta de acelerogramas individuales y el promedio de los mismos como se indica en el capítulo A.2.7 del reglamento.

Para este proceso de selección se realizó una recopilación inicial de acelerogramas cuyo periodo tuviera un valor cercano a los esperados para edificaciones de gran altura, para formar una base de datos preliminar que pudiera ser analizada con respecto a lo presentado en la NSR-10. Por medio de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC) se recopilieron acelerogramas correspondientes a sismos registrados en el país en regiones de características geotécnicas similares a las de la ciudad de Bogotá D.C., tales como la zona de amenaza sísmica y el perfil de suelo de la zona.

En los sismos se realizaron las verificaciones requeridas en A.2.7.1.c para espectros de acelerogramas individuales, que menciona que el 80% de las ordenadas espectrales de los espectros de respuesta comparadas con el espectro objetivo (NSR-10) no deben ser menores en el rango de periodos comprendido entre $0,8T - 1,2T$, donde T es el período de vibración fundamental inelástico esperado de la estructura en la dirección bajo estudio.

Los sismos escogidos para formar parte de la familia de acelerogramas que sirvan como información para posibles diseños están en el rango de periodo de 0.20 y los 0.80 segundos, periodos de vibración fundamental en edificaciones esbeltas, que es el común denominador en diseño en la ciudad de Bogotá D.C. Por lo que los acelerogramas seleccionados nos darán información veraz del comportamiento del suelo en un eventual sismo.

12. BIBLIOGRAFÍA

GARCÍA REYES, Luis E. Dinámica estructural aplicada al diseño sísmico, Universidad de los Andes, Bogotá D.C., CO., 1998.

HUSID LERNER, Roberto. TERREMOTOS: Análisis espectral y características de acelerogramas como base del diseño sísmico, Editorial Andrés Bello, Santiago de Chile, CL., 1973.

Red Sismológica Nacional, Bogotá D.C.

Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia, Bogotá D.C.

Los sismos y el concreto reforzado. Illinois, EU., Obtenido 09, 1964, disponible en http://www.imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Sismos/I46sis_0912_reinoso_criterios0001.pdf.

Acelerogramas, Obtenido 09, 2012, disponible en <https://seismic06g.wordpress.com/2012/11/03/acelerogramas1>.

Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica A.C., Revista de Ingeniería Sísmica No. 81 1-18, México D.F., MX., 2009

AIS, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente (NSR-10), Título A, Bogotá D.C., CO., 2010.

GREEN, Norman. Earthquake Resistant Building Design and Construction, Van Nostrand Reinhold Company, New York, EU., 1981.

NEWMARK, Marcus. Earthquake Spectra and Design, EERI, Berkeley, California, EU., 1982.

BAHAR, Omid; TAHERPOUR, Abolfazl, Selection of Artificial Spectrum Compatible Accelerograms for Nonlinear Dynamic Analysis of RC Buildings, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, CN., 2008.

CHOPRA, Anil K. Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey, EU., 2001.

ACEVEDO, Ana B. Criterios sismológicos para seleccionar acelerogramas reales de la red nacional de acelerógrafos de Colombia para su uso en análisis dinámicos, Revista EIA, Medellín, CO., 2012.

OROSCO, Lía. Simulación de movimientos intensos para zonas con pocos registros y su aplicación a la evaluación del comportamiento de las estructuras, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, ES., 2004.

ARAYA, Roberto; SARAGONI, Gustavo R. Earthquake accelerogram destructiveness potencial factor, 8th World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, EU., 1984.

CREMPIEN, Jorge; ARANEDA, Claudio. Simulación de Acelerogramas Consistentes con la Sismicidad Local, Tesina de Habilitación Profesional, Universidad de Concepción, CL., 1993.

Consulta General de Acelerogramas, obtenido 09, 2003, disponible en http://200.119.88.135/RNAC/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=9.

BOLT, Bruce A. Estudio de los movimientos sísmicos fuertes del suelo, En el libro: Física de la Tierra, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, ES., 1989.

Caracterización General del Escenario de Riesgo Sísmico en Bogotá D.C. obtenido 09, 2017, disponible en <http://www.idiger.gov.co/rsismico>.

Red de Acelerógrafos de Bogotá D.C. (RAB), obtenido 09, 2016, disponible en <http://www.sire.gov.co/rab>.