

***INTERACCION SUELO ESTRUCTURA, PARA EDIFICACIONES DE MUROS DE
CONCRETO, EN SUELOS BLANDOS***

ING. CARLOS ALFONSO BALLEEN DIAZ

***ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO***

***MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL
CON ENFASIS EN GEOTECNIA***

TESIS DE GRADO

***BOGOTA, D.C.
2015***

***INTERACCION SUELO ESTRUCTURA, PARA EDIFICACIONES DE MUROS DE
CONCRETO, EN SUELOS BLANDOS***

ING. CARLOS ALFONSO BALLEÑ DIAZ

***MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL
CON ENFASIS EN GEOTECNIA***

***DIRECTOR:
ING. JAIME E. GARZON MORENO
PROFESOR DE LA ASIGNATURA INTERACCION SUELO ESTRUCTURA
ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA JULIO GARAVITO***

***ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO***

***MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL
CON ENFASIS EN GEOTECNIA***

***TESIS DE GRADO
BOGOTÁ, D.C.***

APROBACION

ING. JAIME E GARZON MORENO
Director

Jurado 1

Jurado 2

Jurado 3

Este trabajo está dedicado a mi esposa e hijos.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al Ing. Mauricio Gallego Silva, al Ing. Luis Fernando Orozco, Ing. Jaime Garzón M, Director de la Tesis, y a todas las personas que de una u otra manera colaboraron con su trabajo, ayudas y aportes para que esta investigación fuera posible.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	11
CAPITULO 1. ANTECEDENTES	13
1.1 DISEÑO SISMICO EN COLOMBIA ANTES DE LA PROMULGACION DEL DECRETO 1400 DE 1984.....	13
1.2 CODIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, DECRETO 1400 DE 1984.....	14
1.3 NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-98 LEY 400 DE 1997	17
1.4 REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE, NSR-10	26
1.5 MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.	30
CAPITULO 2. PARAMETROS ELASTICOS, MODULOS DE CORTE AMORTIGUAMIENTO DE LOS SUELOS	40
2.1 COEFICIENTES ELASTICOS DEL SUELO.....	40
CAPITULO 3. REGISTROS DE ACTIVIDAD SISMICA EN LA SABANA DE BOGOTA.....	75
3.1 EVENTOS SISMICOS DETECTADOS POR LAS ESTACIONES RAB	78
3.2 TECNICAS DE INTERPRETACION DE LAS SEÑALES DE LOS ACELEROGRAFOS	80
CAPITULO 4. EVALUACION DE LA INTENCIDAD DE ARIAS, ESPECTROS DE AMPLITUDES DE FOURIER Y DE RESPUESTA, PARA AMORTIGUAMIENTOS DEL 2% Y EL 5% DEL AMORTIGUAMIENTO CRITICO RESPECTIVAMENTE, DEL SISMO DE QUETAME DEL 2008, REGISTRADO POR LAS ESTACIONES R.A.B DE BOGOTA.....	84
CAPITULO 5. ANALISIS DE MASAS Y CORTANTE BASAL, DEL EDIFICIO PROTOTIPO DE SEIS PISOS Y ALTILLO, EN CONCRETO REFORZADO Y SISTEMA SISMORESISTE DE MUROS DE CONCRETO (DMO).....	183
5.1 CONFIGURACION ARQUITECTONICA Y ESTRUCTURAL DEL EDIFICO PROTOTIPO ...	183
5.2 METODOLOGIA PARA EL ANALISIS	188
5.3 GRAFICAS DE RESULTADOS, PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES R.A.B	192
5.3 OBSERVACIONES A LOS GRAFICOS DE RESULTADOS DE FUERZAS Y RIGIDECEs	233
CAPITULO 6. ANALISIS DE LAS SEÑALES DE LLEGADA Y SALIDA Y SU RELACION CON LAS ESTRUCTURAS, (EL MEDIO), DE LOS EDIFICIOS QUE SE CALCULARON PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE LA RAB Y SU CORRELACION CON LAS ZONAS DE MICROZONIFICACION SISMICA DE BOGOTA	235
6.1 ESPECTROS EN SUELO BLANDO DE LA SABANA DE BOGOTA	235
6.2 ESPECTROS EN ROCA EN LA SABANA DE BOGOTA.....	443
6.3 COMPARACION DE ESPECTROS PARA CADA UNA DE LAS ZONAS DE MICROZONIFICACION SISMICA DE BOGOTA.....	454
6.3.1 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA ALUVIAL 200	455
6.3.2 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA ALUVIAL 100	456
6.3.3 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA ALUVIAL 300	457
6.3.4 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA CERROS.....	458
6.3.5 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA DEPOSITO LADERA.....	459
6.3.6 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA LACUSTRE 50	461

6.3.7 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA LACUSTRE 200	462
6.3.8 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA LACUSTRE 300	463
6.3.9 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA LACUSTRE 500	464
6.3.10 RESUMEN ESTACIONES EN ROCA	465
6.4 OBSERVACIONES A LOS GRAFICOS DE ESPECTROS DE SALIDA Y RESPUESTA PRESENTADOS.....	465
7. CONCLUSIONES.....	467
8. BIBLIOGRAFIA.....	469
ANEXOS.....	470

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1.	Coefficientes de diseño	31
Tabla 1.	Descripción de las zonas geotécnicas.....	33
Tabla 2.	Descripción de las zonas de respuesta sísmica.....	34
Tabla 11.	Valores estimados de la velocidad de onda promedio del Deposito hasta la roca.....	47
Tabla 3.1	De registros de las estaciones de la RAB.....	78
Tabla 4.1	Resumen del procesamiento de datos, DPAE.....	88
Tabla 4.2	Resumen del procesamiento de datos, DPAE.....	89
Tabla 5	Masas de diafragmas y altura de pisos.....	186
Tabla 5.1	Periodos y frecuencias de la estructura.....	187
Tabla 5.2	Centros de masa y rigidez de la estructura.....	187
Tabla 5.3	Localización de las estaciones en las zonas sísmicas.....	189
Tabla 2	Valores medios recomendados	494

LISTA DE GRAFICAS Y FIGURAS

Grafica 5.1	Espectro de aceleración para las estaciones R.A.B.....	190
Grafica 5.2	Espectro de velocidades para las estaciones R.A.B.....	190
Grafica 5.3	Espectro de desplazamientos para las estaciones R.A.B.....	191
Figura 1	Ciclo de histéresis para un ciclo de carga.....	484
Figura 2	Relaciones entre el limite plástico y el parámetro α	487
Figura 3	Relación entre el índice plástico IP y el parámetro K.....	488
Figura 4	Relación entre el índice plástico IP y γ_{r1}	489
Figura 5	Comparación entre las mediciones y los valores calculados.....	490
Figura 6	Relación entre el índice de plasticidad IP y Dmin 1.....	491
Figura 7	Relación entre G/Gmax y D-Dmin.....	492
Figura 8	Comparativo de D medido y calculado.....	493

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1	Deconvolución de sismogramas digitales.....	471
Anexo 2	Geología de la Sabana de Bogotá, D.C.....	473
Anexo 3	Normalización del modulo de corte y amortiguamiento--.....	483
Anexo 4	Análisis de las funciones de transferencia de los acelerógrafos.....	506
Anexo 5	Propagación de las ondas P, SV y SH.....	516

INTRODUCCION

La ciudad de Bogotá alberga alrededor del 15% de la población del país y aumenta año tras año, ejerciendo presión sobre la demanda de vivienda, sobre todo para los más pobres. La oferta de vivienda, para este sector mayoritario de la población, creada por los constructores y el Distrito, usualmente se construyen sin tener en cuenta el suelo de fundación y en zonas que no siempre son las mejores, ya que presentan alto riesgo y son vulnerables a la tectónica de la ciudad. Bogotá está localizada en una zona de amenaza sísmica intermedia y dada su importancia, como la ciudad que más genera desarrollo y empleo en el país, se hace imperativo seguir estudiando el suelo y mejorar los procedimientos y técnicas de análisis estructural, especialmente los de orden dinámico a objeto de ofrecer una vivienda más segura para los más pobres.

Colombia adopto en un principio el reglamento del American Concrete Institute y posteriormente, conforme avanzaba el conocimiento de la sísmica, se fueron introduciendo algoritmos que se han ido refinando, hasta la actual NSR-10, por tal razón es importante reseñar el interés y esfuerzo a través del tiempo de los entes gubernamentales, en mejorar nuestro entendimiento de la sismicidad del país, para asegurar las estructuras contra el riesgo de los sismos.

Uno de los aspectos más importantes, para lograr una construcción segura, sostenible y económicamente viable, es la de conocer más a fondo los mecanismos que rigen la interacción suelo estructura, por esta razón se hace una reseña de la geología de la sabana y las principales fallas, en el Anexo 1.

Con la utilización de los datos, de la red de acelerógrafos de Bogotá, RAB, se pueden obtener pistas sobre cómo actúan los sismos, sobre las diferentes zonas, en las que se ha dividido la ciudad, para la aplicación de los espectros de la microzonificación sísmica.

Aprovechando la cobertura que tuvo la RAB, con 26 Estaciones, del sismo de Quetame, Departamento de Cundinamarca, ocurrido el 24 de Mayo de 2008 a las 14:20 hora local, (19.20 UT), cuyo epicentro se localizó a 8.60 km al noroeste de la cabecera municipal de Quetame, de profundidad superficial y de una magnitud local de 5.7 (magnitud de Richter), se puede realizar una confrontación de los espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento, previstos por la microzonificación sísmica de la ciudad, versus los espectros, calculados en este trabajo, basados en los registros de los acelerógrafos de la red RAB para el sismo de Quetame.

Para los cálculos de los espectros, se utilizara el programa Degtra A-4, utilizando como herramienta principal los espectros de amplitudes de Fourier.

De otra parte, se utilizara el modelo de un edificio, para uso de vivienda, de seis pisos y altillo, con sistema sismo resistente, conformado por muros de concreto, con capacidad moderada de disipación de energía. Los diafragmas están constituidos por losas macizas de concreto de 10cm de espesor.

El cálculo del edificio, dada su regularidad, se realizara con el programa ETABS. Para efecto de realizar las comparaciones, se utilizara el modelo del edificio descrito, como prototipo y se recreara el caso hipotético de haberse construido el edificio en cada una de las estaciones, que registraron el sismo de Quetame, con lo que se pretende obtener el dato de entrada, que afectara al edificio, que sería el sismo a nivel del suelo y el de salida, correspondiente a la respuesta de la estructura, calculado en la cubierta del edificio. Con esta información se pueden establecer datos importantes tales con la rigidez real del edificio en el momento del sismo, el desplazamiento teórico del edificio y la velocidad de atenuación. De otra parte al realizar el análisis estructural, con el registro histórico del tiempo y el espectro de respuesta, no se realiza la mayoración de los espectros y registros del tiempo, hasta igualar los valores de la fuerza horizontal equivalente, debido a que se utilizaran exclusivamente para comparar con los espectros de la microzonificación.

Por otro lado, se tienen registros en roca del sismo de Quetame, del 24 de Mayo de 2008, en las estaciones de la Universidad Agraria (CUAGR), zona lacustre 200, a 130m de profundidad; Escuela General Santander (CGRAL), zona Aluvial 200, a 100m de profundidad y estación INGEOMINAS (CBOG1), zona lacustre 200, a una profundidad de 180m. Con esta información es posible estimar la rigidez del suelo y el módulo de cortante. Por esta razón se investiga el proceso de deconvolución y el efecto de los niveles de ruido en los acelerogramas de superficie, que a diferencia de los sensores instalados en el contacto del basamento rocoso, no tienen.

CAPITULO 1. ANTECEDENTES

1.1 DISEÑO SISMICO EN COLOMBIA ANTES DE LA PROMULGACION DEL DECRETO 1400 DE 1984

En el mes de Diciembre del año 1982 se terminó de dar forma al Código Colombiano de las Estructuras de Hormigón, realizado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas, llamado ICONTEC 2000, documento basado en el código ACI 318-77 de los Estados Unidos. Previamente La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, fundada en 1974, estaba trabajando muy juiciosamente en la traducción de los documentos que contenían las Normas sísmicas, más relevantes e importantes de aquel entonces, entre las cuales las más destacadas eran las del SEAOC y el ATC-3-06. De estas traducciones y su respectivo análisis, surge el informe AIS 100-81.

Este documento era el referente más importante, de la ingeniería estructural y se comenzó a utilizar desde su publicación. Como anécdota, los dos únicos edificios construidos y calculados, siguiendo la Norma AIS 100-81, en la ciudad de Popayán, solo sufrieron daños menores, con el temblor ocurrido el 31 de Marzo de 1983. En la Norma ICONTEC 2000, se incorporó el documento AIS 100-83, en el apéndice A de la Norma, donde se mencionan los “REQUISITOS DE DISEÑO SISMO RESISTENTE”. El documento inicial, AIS 100-81, fue revisado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, para incluir la mampostería estructural y las edificaciones de uno y dos pisos; a este documento se le llamo, AIS 100-83 y fue el que se incluyó en el apéndice “A”. El diseño estructural para edificios de vivienda, realizados en Colombia antes del año 1977 y de la expedición de la Norma AIS 100-81, se basaba principalmente en la aplicación discrecional, por parte de los ingenieros y empresas consultoras, que ejercían una buena práctica profesional, del reglamento de construcciones de concreto reforzado, del American Concrete Institute, ACI-318-77, (el código no era obligatorio en el país).

Para el diseño sísmico, se basaban esencialmente del Apéndice “A”, que había sustituido al del reglamento del ACI-318-71, donde ya aparecían las primeras disposiciones para el análisis sísmico y se presentaron sin alteraciones, en el reglamento del ACI-318-77. Estas disposiciones del Apéndice A, fueron el resultado de las investigaciones de la Asociación de Ingenieros de Estructuras de California (SEAOC), sobre los daños ocurridos en los edificios durante los sismos de Skopje (1963), Anchorage (1964) y Caracas (1967) respectivamente. Estas disposiciones aludían especialmente a la ductilidad de los marcos, a la zona de confinamiento donde se desarrollaban las articulaciones plásticas y en general a describir la adecuada y especial forma del armado de los aceros en las vigas y columnas de hormigón armado y a los requisitos de calidad y resistencia del concreto.

En el año 1978 la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (ACIS), como ya se mencionó, trajo al país el documento de la Applied Technology Council, denominado ATC-3-06, por sus siglas en inglés, desarrollado por la Structural Engineers Association of California, SEAOC y terminado de traducir con sus comentarios por la AIS en el año 1979, donde ya se establecía la siguiente fórmula, para el cálculo del cortante basal: $V=Z*I*K*S*c*W$, donde K, llamado factor de ductilidad, variaba para pórticos dúctiles a rígidos de 0.67 a 1.33. El factor “Z” correspondía a las zonas de igual probabilidad de riesgo de daño, (aplicado al Estado de California), tales como: Zona 0, sin daño; Zona 1, daños menores; Zona 2 daños moderados y Zona 3, daños mayores y su valor máximo era de 1.0.

El factor “I”, denominado de importancia variaba si trataba de ocupación normal, I=1.0; Concentración de personas, I=1.25 y Servicios especiales, I=1.50. El factor “S” consideraba las características del suelo y los calificaba así: Suelos duros, S=1.00; Suelos semiblandos, S=1.25 y Suelos duros, 1.50. Cuando se aplicaba a la ciudad de Bogotá usualmente se utilizaban los siguientes valores:

$$V = Z * I * K * S * \frac{1}{15 * \sqrt{T}} * W$$

$$Z=0.80; I=1.0; K=0.75, S=1.50$$

El valor de “c” que se calculaba, (equivalente al “S_a”), tenía como expresión: $c=1/(15*\sqrt{T})$.

Es decir, que el cortante basal de un edificio de 5 pisos, con muros de concreto, para un periodo de 0.70s., era del orden de:

$$V=0.0717*W$$

1) *EL cortante basal hallado*, se distribuía proporcionalmente a la rigidez, de cada uno de los pórticos del edificio. Una vez realizada la distribución de fuerzas horizontales, se calculaban las fuerzas internas, aplicando métodos aproximados, tales como el método del portal o del voladizo (rutinas simplificados para evaluar los momentos debidos a las fuerzas horizontales producidas por el sismo) y con estas fuerzas se diseñaban los elementos en concreto reforzado. No se verificaban las derivas de piso, pero si se tenía en cuenta las condiciones de pandeo local de las columnas, por los efectos de esbeltez.

1.2 CODIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES, DECRETO 1400 DE 1984

De otra parte, el sismo ocurrido en el Departamento del Cauca, el 31 de marzo de 1983, puso en evidencia la precaria resistencia de las construcciones edificadas hasta entonces. La ley 11 de 1983, creo el “Fondo Nacional de Calamidades” y fue la génesis de la primera Norma Sismo resistente del País, a través del Decreto 1400 de Junio 7 de 1984. Desde

luego la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, venía trabajando desde 10 años atrás, en lo que posteriormente fue el cuerpo de la Norma mencionada. En términos muy generales se regulo lo siguiente:

a) Se definió el mapa de zonas de riesgo sísmico, para la Republica de Colombia y el mapa de riesgos locales con siete zonas de riesgo sísmico dependiendo de la variable A_a y A_v respectivamente. Sus valores variaban desde 0.00 en la Zona 1 de bajo riesgo, hasta 0.30 en la Zona de alto riesgo.

b) Los perfiles del suelo se clasificaron en tres:

Suelo S_1 : Correspondiente a la roca con velocidades de onda de 750 m/s y perfiles de suelo duros con espesores no menores de 60m compuestos de arenas, gravas o arcillas duras.

Suelo S_2 : Correspondiente a un perfil de suelo donde entre la roca y la superficie existieran más de 60m de arcillas duras o suelos no cohesivos.

Suelo S_3 : Correspondiente a un perfil de suelo donde entre la roca y la superficie existieran más de 10m de arcillas de dureza media a blanda.

Esta clasificación del suelo daba origen a unos coeficientes de sitio cuyos valores eran 1.0, 1.20 y 1.50 respectivamente.

c) De igual manera se clasificaron las estructuras por el tipo de uso y se establecieron tres categorías, Grupo de Uso I, $I=1.0$; Grupo de Uso II, $I=1.10$ y Grupo de Uso III, $I=1.20$.

d) Se definió la forma del espectro elástico de aceleraciones para diseño, que no tenía en cuenta el amortiguamiento de la estructura, por medio de la siguiente formula:

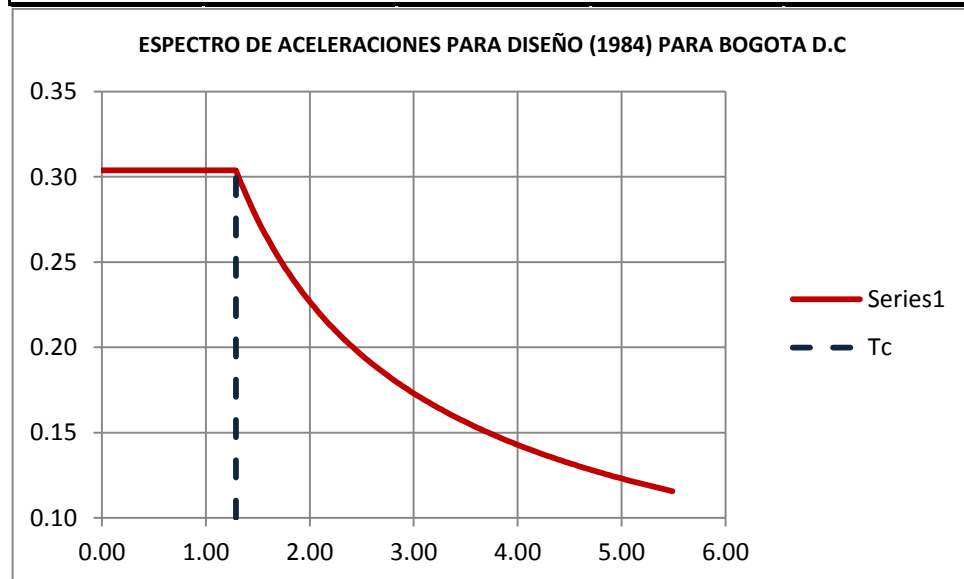
$$S_a = \frac{1.2A_vSI}{T^{\frac{2}{3}}} \quad (A.2 - 1)CCCSR - 1984$$

El valor de S_a se limitaba a:

$$S_a = 2.5A_aI \quad (A.2 - 2)CCCSR - 1984$$

Para la ciudad de Bogotá, aplicando la ecuación anterior se llegaba al siguiente espectro de diseño:

Ciudad: Bogota D.C.		
Estructura: Edificio de 5 pisos con muros de cortante		
I= 1.00	Uso vivienda	
S ₃ = 1.50		
A _a = 0.15		
A _v = 0.20		
T= 0.70	s	
Sa= 0.30	g	Valor limite



Fuente: Elaboración propia con datos del CCCSR (1984)

e) El valor del periodo fundamental se calculaba con base en las propiedades del sistema de resistencia sísmica y se limitaba su valor a $T < 1.20 * T_a$, donde $T_a = 0.08 * h_n^{0.75}$ (Periodo fundamental aproximado) y C_s se definía como $C_s = S_a / R$. El valor de R, para edificios con muros de concreto reforzado, $R = 4.0$ y $C_d = 3.50$ (coeficiente de amplificación de desplazamiento), para la ciudad de Bogotá y finalmente el cortante basal estaba definido como $V = C_s * W$ y el límite de la deriva de piso se establecía en el 1.5%.; para un edificio de muros de concreto y un periodo de la estructura de 0.70s, el cortante basal se estimaba en:

$$V = 0.075 * W$$

Para el diseño de los elementos y para la verificación de la deriva se utilizaba la ecuación:

$$\delta_x = C_d * \delta_{xe} \quad (A. 6. 1) \text{ CCCSR} - 1984$$

Donde el desplazamiento inelástico de la estructura se calculaba aplicando el coeficiente C_d a los desplazamientos horizontales elásticos y comparándolos con el 1.5% de la altura en cada piso.

f) La Norma CCCR-1984, en general no hacía referencia a la calidad y contenido de los estudios geotécnicos.

1.3 NORMAS COLOMBIANAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE NSR-98 LEY 400 DE 1997

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, que venía trabajando desde principios de la década de los noventas, logro concluir la actualización del reglamento anterior, presentándola al Congreso Nacional de Colombia, en su calidad de Cuerpo Consultor del Gobierno, para la expedición de la Ley 400 del 19 de Agosto de 1997 y el Decreto 33 del 9 de Enero de 1998 que la reglamentaba, por parte del Ejecutivo. Dando origen a las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98.

Bajo el amparo de la misma Ley 400, se crea la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistente, adscrita al Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. En esta Norma se hacía referencia a la tectónica y Sismicidad de Colombia. Se reproducían mapas de los principales fallamientos del territorio Nacional y se aprovechaban los trabajos de exploraciones geológicas, realizadas y detalladas en los megaproyectos hidroeléctricos de Colombia, tales como: Porce II, 392MW; Nechi, 645MW; Sogamoso, 1,035MW; San Francisco, 46MW; Guaico, 136MW, Guames I, 428MW; Guames II, 605MW; Patía I, 880MW; Patía II, 911MW; Miel II, 400MW, Andaqui, 706MW; Cabrera, 600MW; Fonce, 500MW; entre otras. También hidroeléctricas de tamaño mediano y pequeñas centrales tales como: Sabaletas, 2.06MW; Sonson II, 9.8MW; Patico, 14.5MW; Rio Piedras, 19.4MW; Cañaveral, 68MW; Encimadas, 94MW; Rio Palo, 35MW; Alejandría, 16.3MW; Aures, 24.9MW; Caracol, 14.6MW; Cocorna, 29.7MW; Rio Frio, 8.5MW; Santa Rita, 1.0MW; Cucuana, 88MW; Montañitas, 25MW; Coello1, 2,3, 3.75MW; La Herradura, 23.6MW y La Vuelta, 9.8MW.

Igualmente se recurrió a los datos de la investigación tectónica del INGEOMINAS, entre otras instituciones. Por otra parte se hacía la reseña histórica e instrumental de los sismos en Colombia. Para actualizar la Norma, se dispuso de un catálogo de 11,088 eventos sísmicos, tomando información de la Red Sismológica Nacional, que funcionaba desde el año 1993, adscrita y administrada por la Subdirección de Geofísica del INGEOMINAS y del Observatorio Sismológico del Sur Occidente, OSSO, administrado por la Universidad del Valle. El primer sismógrafo se instaló en el país en el año 1922, traído por la Comunidad de los Jesuitas. El primer registro instrumentado y monitoreado, realizado en el exterior, de un sismo en Colombia, fue el ocurrido frente a la costa Pacífica, el 31 de Enero de 1906, cuya magnitud fue de 8.9 en la escala de Richter. También se tomó

información de las siete estaciones sismológicas, operadas por el Instituto Geofísico de la Universidad Javeriana, que estuvieron en funcionamiento desde el año 1957 hasta 1992.

Se localizaron en el territorio Colombiano los epicentros de los sismos con magnitudes, $M_s \geq 4$, ocurridos entre los años 1566 a 1995 y se describieron y trazaron las fallas más importantes y relevantes de la sismica del país, como son: Arco de Dabeiba, Bahía solano, Benioff intermedia, Benioff profunda, Bocono, Bolívar, Bucaramanga –Sta. Marta-Norte, Bucaramanga –Sta. Marta-Sur, Cauca, Cimitarra, Compresión Sur Caribe-Este, Compresión Sur Caribe-Oeste, Cuiza, Espíritu Santo, Fallas del Magdalena, Frontal cordillera Oriental, Garrapatas, Ibagué, Junin-Sambiambi, Murindo Atrato, Normal Panamá Pacifico, Oca, Palestina, Perijá, Puerto Rondón, Romeral, Romeral Norte, Salinas, Sinú, Suarez, Subducción Y Uribante-Caparo.

De otra parte se presentan actualizados los mapas de amenaza y riesgo sísmico; en donde se establecen zonas de isosistas, clasificadas como de riesgo bajo, intermedio y alto respectivamente, figura A.2-1, NSR-98. También se divide el país en diez regiones, dependiendo de los valores estimados, para cada una de ellas, de la aceleración pico efectiva A_a y se presentaba en el mapa de la figura A.2-2, de la NSR-98 y en el Apéndice A-3, de la misma norma, se presentaban en forma listada los valores de A_a y A_d (aceleración pico efectiva, para el umbral de daño) y la zona de amenaza sísmica, de todos los Municipio Colombianos.

En la Norma de 1984, también se registraban las zonas de riesgo sísmico, figura A.2-1 CCCSR-1984 y las nueve zonas con los valores de A_a y A_v en los mapas de las figuras A.2-2 y A.2-3 del CCCSR-1984, respectivamente. Se establecieron tres niveles de grado de disipación de energía: Mínima, DMI; Moderada, DMO y Especial, DES y se restringe su aplicación, dependiendo del grado de la zona de amenaza sísmica. Se definen varios grados de irregularidad en planta y en altura, que afectarían al coeficiente básico de modificación de respuesta R_0 y se introduce el concepto de torsión accidental.

Las fuerzas sísmicas de diseño se definen mediante el uso del espectro de aceleraciones, definido para el 5% del amortiguamiento crítico y se utilizaban estas fuerzas, (sin reducir por R), para calcular las derivas de piso, verificando que no se pasaran del 1.0% de la altura del piso; esta restricción aplicaba a todas las estructuras en concreto reforzado, metálicas y de madera. La deriva permitida, para construcciones en mampostería, estaba limitada al 0.50% de la altura del piso.

De otra parte se hacía referencia a los efectos locales, dependiendo de cada uno de los perfiles del suelo y para ello se clasificaban en cuatro grupos principales: Perfil de suelo S_1 , con velocidades de onda de corte entre 400m/s, (deposito < de 60m de suelos duros o densos) y 750m/s, (material rocoso), $S_1=1.0$; Perfil de suelo S_2 , con velocidades de onda mayores o iguales a 400m/s, (deposito > de 60m de suelos duros a densos) y 270 a 400m/s, (deposito < de 60m de suelo de consistencia media), $S_2=1.20$; Perfil de suelo S_3 , con velocidades de onda de corte entre 150 y 250m/s, (depósitos > de 20m de arcillas de dureza

entre mediana y blanda), $S_3=1.50$; Perfil de suelo S_4 , con velocidades de onda menores de 150m/s, (depósito de arcillas blandas > a 12m), $S_4=2.0$.

Los grupos de Uso, se ampliaron a cuatro, donde el Grupo IV, correspondiente a edificaciones indispensables, $I=3.0$; Grupo III, para las edificaciones de atención a la comunidad, $I=1.20$; Grupo II, que aplica para las estructuras de ocupación especial, $I=1.10$ y Grupo 1 correspondiente a las estructuras de ocupación normal, $I=1.0$. Aplicando la NSR-98 al edificio del ejemplo anterior, de muros de cortante, para un periodo de 0.70s, construido en la ciudad de Bogotá, utilizando el espectro elástico de diseño, propuesto para un amortiguamiento del 5% del crítico, sería:

$$S_a = \frac{1.2 A_a S I}{T} \quad (A.2 - 1) \text{ NSR - 98}$$

Para periodos menores a T_C se aplica la ecuación A.2-3:

$$T_C = 0.48S \quad (A.2 - 2) \text{ NSR - 98}$$

$$S_a = 2.5 A_a I \quad (A.2 - 3) \text{ NSR - 98}$$

Para periodos mayores a T_L se usaba la ecuación A.2-5:

$$T_L = 2.4S \quad (A.2 - 4) \text{ NSR - 98}$$

$$s_a = \frac{A_a I}{2} \quad (A.2 - 5) \text{ NSR - 98}$$

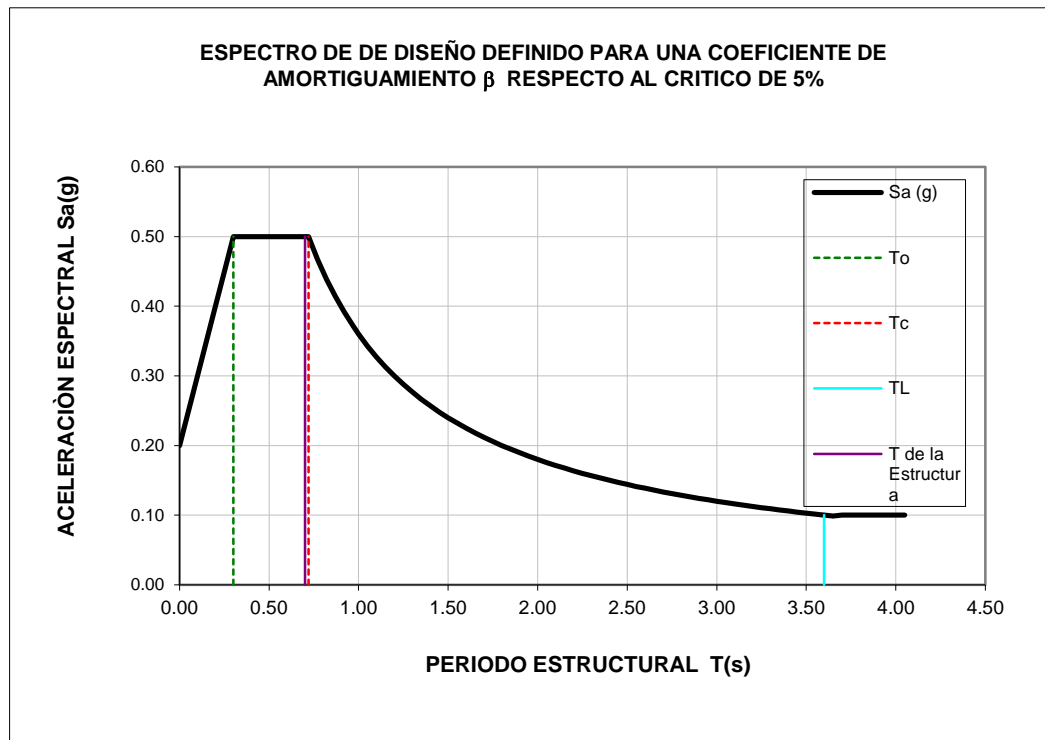
Y para la zona de periodos menores a T_0 se aplicaba la ecuación A.2-6:

$$S_a = A_a(1.0 + 5.0T) \quad (A.2 - 6) \text{ NSR - 98}$$

Aplicado al ejemplo del edificio de 5 pisos, con estructura de muros de cortante, se obtiene:

Ciudad: Bogotá	
Perfil: S ₃	Tipo de suelo
A_a = 0.20	Zona riesgo sismico Intermedio
T = 0.70	s Periodo del edificio
S₃ = 1.50	
T₀ = 0.30	s
T_c = 0.72	s
T_L = 3.60	s
Grupo= I	
I = 1.00	
S_a = 0.50	
R₀ = 5.00	Coficiente para muros de concreto, DMO
Ø_a = 1.00	Coficiente por irregularidad en altura
Ø_p = 1.00	Coficiente por irregularidad en planta
R_{cx} = 5.00	
1/R_{cx} = 0.20	
R_{cy} = 5.00	
R_{cy} = 5.00	
1/R_{cx} = 0.20	

Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-98

Para esta aceleración espectral, la NSR-98 definía el cortante sísmico en la base como:

$$V_S = S_a * g * M \quad (A.4 - 5)NSR - 98$$

Al aplicar las ecuaciones al edificio de 5 pisos, con la estructura conformada por muros de cortante, se obtiene los siguientes cortantes basales:

$$V_S = 0.10 * W \quad (\text{Utilizada para diseñar los elementos en concreto})$$

$$V_S = 0.50 * W \quad (\text{Empleada para verificación de las derivas de piso})$$

Es importante mencionar, que la norma NSR-98 incluyó el título “H”, en donde se refirió específicamente a los estudios Geotécnicos y estableció los requisitos mínimos que debían seguirse para la investigación del subsuelo y el diseño Geotécnico. Igualmente se pronunció sobre los criterios básicos para el tratamiento de suelos licuables y su incidencia sobre la respuesta sísmica, como por ejemplo la triple resonancia (efecto roca-suelo, por incidencia de sismos lejanos; efecto suelo-suelo, producido por el confinamiento de las ondas en la artesa y la diferencia de impedancia entre el suelo contenido y la roca base; el efecto suelo estructura, cuando coinciden sus periodos el predominante del suelo y el fundamental de la estructura).

De otra parte, en el Capítulo H.6, definía y trataba sobre los suelos de características especiales, tales como los expansivos, dispersivos y colapsables. También hacía referencia

a la vegetación y a su interacción con las cimentaciones de las edificaciones. El contenido más vanguardista de este Título “H” fue la inclusión del Apéndice H-1, como procedimiento alternativo para la definición de los efectos locales, (Utilizado por muchos constructores para acomodar la curva del espectrograma de aceleraciones o desplazamientos a objeto de disminuir los costos en la estructura), donde se definió con suma claridad la forma de definir los seis diferentes tipos de suelos y el respectivo procedimiento de clasificación.

Los perfiles fueron bautizados, como perfiles tipo, A, B, C, D, E y perfil tipo F; este último dada su complejidad se subdividió en 4 subclases de la F₁ hasta la F₄ (el F₁ hacía referencia a los suelos licuables, sensitivos, dispersivos o débilmente cementados; la subclase de suelo F₂, hacía referencia a la turba y a las arcillas orgánicas; la subclase de suelo F₃, trataba las arcillas de alta plasticidad y el F₄ a los perfiles de gran espesor de arcillas con rigidez media a baja). La definición de los diferentes perfiles de suelo, basados en parámetros como la velocidad de onda de corte, índice plástico y valores promedio del ensayo SPT, (ensayo de penetración estándar), definidos en el apéndice H-1.4.1 de la NSR-98, fueron la base de la actualización a nivel espectral de la NSR-10. Dada su importancia y relevancia en el objeto de este trabajo se transcribe a continuación la Tabla H-1-1, H-1-2, H-1-3 y H-1-4 de la NSR-98.

De otra parte, la Alcaldía de Bogotá D.C., mediante el convenio Interadministrativo entre el Fondo de Prevención Atención de Emergencias de la Secretaría de Gobierno, el Fondo Nacional de Calamidades e INGEOMINAS adelantó los estudios para la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C, el cual fue aprobado, por la Comisión Asesora Permanente Para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes. De conformidad con lo anterior la Alcaldía expide el Decreto 193 de 2006, donde se oficializa la microzonificación sísmica de Bogotá. En el citado Decreto, divide la ciudad de Bogotá D.C., en 5 zonas, que se describen a continuación:

“1. Zona 1. Cerros, conformada por: la Zona 1 A. Cerros Orientales y Sur Occidentales y la Zona 1B. Cerros de Suba. Caracterizada por la presencia de formaciones rocosas con capacidad portante relativamente mayor. Puede presentar amplificaciones locales de aceleración sísmica por efectos topográficos. Se presentan sectores inestables desde el punto de vista geotécnico. Las variables que inciden en dicha inestabilidad son las altas pendientes, las lluvias fuertes y prolongadas, las fuentes de aguas subterráneas o superficiales, los efectos relacionados con actividad antrópica, la eventualidad de sismos intensos.

2. Zona 2. Piedemonte, conformada por: la Zona 2A. Piedemontes Orientales, la Zona 2B. Piedemonte del Sur y la Zona 2C. Piedemonte de Cerros de Suba. Conformada por la zona de transición entre los cerros y la zona plana y consta principalmente de depósitos coluviales y conos de deyección de materiales con una elevada capacidad portante en general, pero con estratigrafías heterogéneas con predominio de gravas, arenas, limos y depósitos ocasionales de arcillas de poco espesor.

3. Zona 3. Lacustre A. Está conformada principalmente por depósitos de arcillas blandas con profundidades mayores de cincuenta (50) metros. Pueden aparecer depósitos ocasionales de turbas y/o arenas de espesor intermedio a bajo. Presenta una capa superficial pre consolidada de espesor variable no mayor de diez (10) metros.

4. Zona 4. Lacustre B. Posee las mismas características de la Zona 3. Lacustre A, pero los depósitos superficiales (Los primeros 30 a 50 metros) son consistentemente más blandos que los anteriores. Además, corresponde a la zona en que la profundidad hasta la roca base es del orden de 200 m hasta 400 m o más.

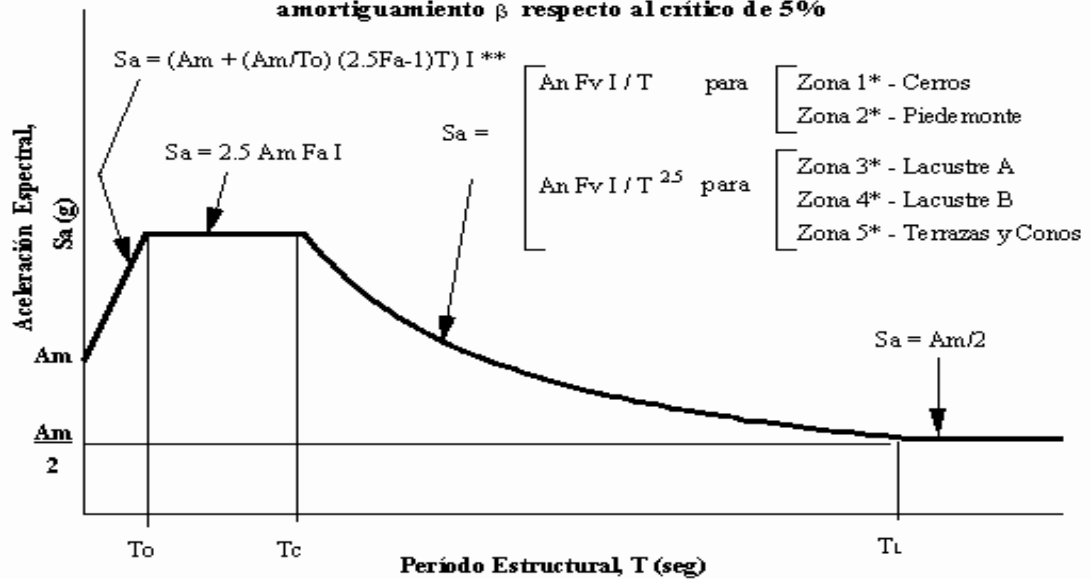
5. Zona 5. Terrazas y Conos. Está conformada por: la Zona 5A. Terrazas y Conos Orientales y por la Zona 5B. Terrazas y Conos Occidentales. Se presenta predominantemente en la zona sur de la ciudad y está conformada por suelos arcillosos secos y pre consolidados de gran espesor, arenas o limos o combinaciones de ellos, pero con capacidad portante mayor que los depósitos de las zonas Lacustres A y B. En la Zona 5B se presentan sectores donde predominan las arenas limpias, finas y superficiales, combinadas con la posibilidad de niveles freáticos altos, lo cual redundará en una alta susceptibilidad a la licuación ante la ocurrencia de un sismo intenso.”

Los coeficientes espectrales resultantes del estudio de microzonificación del 2006 para la ciudad de Bogotá D.C., se transcriben a continuación:

COEFICIENTES ESPECTRALES PARA DISEÑO

	ZONA 1 CERROS	ZONA 2 PIEDEMONTE	ZONAS 3A Y 3B LACUSTRE A	ZONA 4 LACUSTRE B	ZONAS 5A Y 5B TERRAZAS
To	0.20	0.20	0.50	0.50	0.50
Tc	1.00	1.20	3.00	3.00	3.00
Tl	5.00	6.00	5.71	5.71	5.71
Am	0.24	0.30	0.25	0.16	0.20
An	0.30	0.40	0.30	0.20	0.30
Fa	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Fv	2.00	2.25	32.48	31.18	25.98

Espectro de diseño definido para un coeficiente de amortiguamiento β respecto al crítico de 5%



PARAMETROS

- T_o : Período inicial
- T_c : Período Corto
- T_L : Período Largo
- S_a : Aceleración Espectral
- A_m : Aceleración Máxima
- A_n : Aceleración Nominal
- I : Coeficiente de importancia de acuerdo con A.2.5. del Decreto 33 de 1998

***NOTA:** Las zonas corresponden a lo descrito en el Artículo Tercero.

****NOTA:** Ver numeral 4 del Parágrafo del Artículo Cuarto.

- F_a : Factor de Amplificación de la Aceleración
- F_v : Factor de Amplificación de la Aceleración en el intervalo de velocidades constantes

Fuente: Decreto 193 de 2006

Aplicando la Microzonificación sísmica, según el Decreto 193 de 2006, para la ciudad de Bogotá D.C., al edificio de 5 pisos del ejemplo, se obtienen las siguientes aceleraciones:

LOCALIZACIÓN: BOGOTA D.C
 TIPO DE ZONA: ZONA "3" LACUSTRE A

TIPO DE PERFIL S_3

ALTURA DE LA EDIFICACIÓN: 15.00 m

$C_t = 1$

$C_t = 0.08$

$S_3 = 1.50$

$T_o = 0.50$

$T_c = 3.00$

$T_L = 5.71$

$A_m = 0.25$

$A_n = 0.30$

$F_a = 1.00$

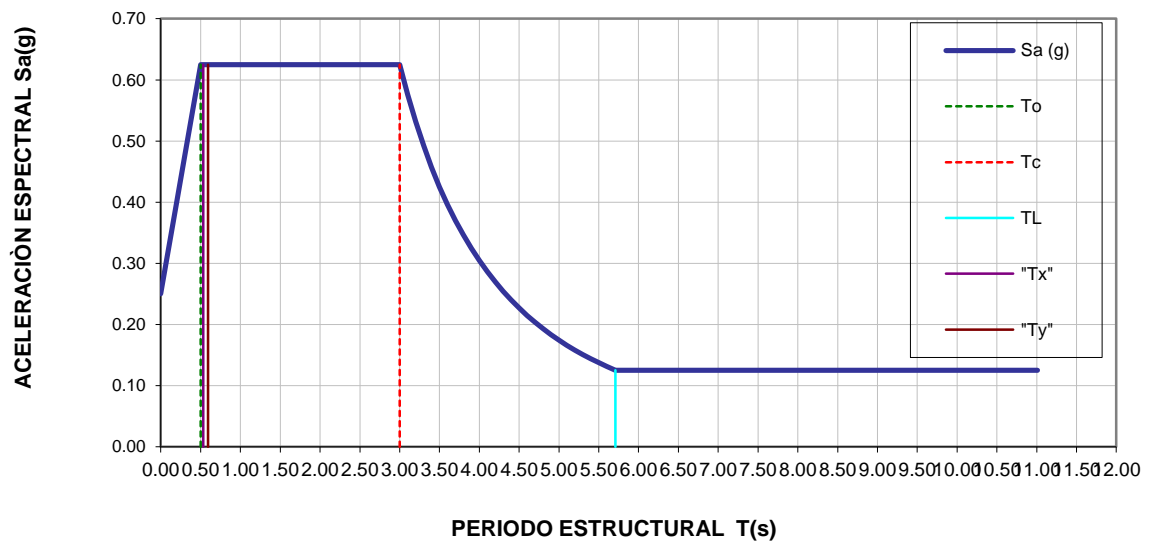
$F_v = 32.48$

$I = 1.00$

GRUPO I, TITULO A.2 NSR98

VALORES DE C_t		
1	0.08	Para pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado y para pórticos de acero estructural con diagonales excentricas.
2	0.09	Para pórticos resistentes a momentos de acero estructural.
3	0.05	Para los otros sistemas de resistencia sísmica.
4		Mampostería estructural

ESPECTRO DE DE DISEÑO DEFINIDO PARA UNA COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO β RESPECTO AL CRITICO DE 5%



Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-98

El cortante basal resultante de la aplicación de la microzonificación, aplicándolo al edificio es de $V_s=0.625*W$ para revisar las derivas de piso y de $V_s=0.125*W$, para el diseño de los elementos en concreto reforzado.

1.4 REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCION SISMO RESISTENTE, NSR-10

En el año 2008, la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, tuvo por encargo, por parte de la Comisión Asesora Permanente del Régimen de Construcciones Sismo Resistentes, dirigir y coordinar la actualización de la Norma NSR-98. Para este efecto se designó el Comité AIS 100 y este a su vez se dividió en once subcomités, correspondiendo cada uno de ellos a un Título del Reglamento, Como resultado de estos estudios se produjo el documento, denominado Norma AIS 100-09 y es la base de la NSR-10. Mediante el Decreto 926 del 19 de Marzo de 2010 se expide el Reglamento NSR-10, derogando los anteriores. Posteriormente sufre modificaciones a través de los Decretos 2525 del 13 de Julio de 2010, Decreto 92 del 17 de Enero de 2011 y Decreto 340 del 13 de Febrero de 2012.

Es de notar el avance en la información existente, producto de una mayor investigación e instrumentación y la mayor cobertura a nivel Nacional de la Red Sismológica Nacional, que cuenta con 26 estaciones remotas, cuyo procesamiento es en tiempo real y la facilidad de comunicación vía satelital, con la ciudad de Bogotá. Además tiene más de 250 acelerógrafos autónomos digitales de movimiento fuerte, que pertenecen a la Red Acelerográfica adscrita al INGEOMINAS. A efecto de evaluar la Amenaza sísmica Nacional se tuvo acceso a un catálogo de 28,000 eventos sísmicos, tanto históricos como instrumentales, de los cuales 9,000 tienen una magnitud de Richter mayor o igual a 3, ocurridos desde 1541 hasta el año 2009.

La Norma NSR-10, contempla los siguientes pasos mínimos para realizar un diseño estructural:

a) A partir del mapa de los mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3, se obtienen los valores de A_a (aceleración pico efectiva) y A_v (velocidad pico efectiva), según corresponda a la región seleccionada. A partir de estos valores se establece el tipo de amenaza sísmica, así:

Zona de amenaza sísmica baja: Si los coeficientes de aceleración, A_a y A_v son menores o iguales, a 0.10.

Zona de amenaza sísmica intermedia: Si los coeficientes de aceleración, A_a (que controla los periodos cortos del espectro) y A_v (que controla los periodos largos), son mayores de 0.10 y menores a 0.20.

Zona de amenaza sísmica alta: Si los coeficientes de aceleración son mayores de 0.20.

b) *Se definen los movimientos sísmicos de diseño, mediante un espectro de diseño; una familia de acelerogramas o un estudio de microzonificación. Los factores de amplificación del espectro, por efectos de sitio, F_a y F_v , mencionados y descritos en la NSR-98 como de procedimiento alternativo, ahora son de uso obligatorio en la NSR-10 y se reglamenta su uso en el Capítulo A.2. De otra parte se definen seis tipos distintos de perfiles de suelo y se establecen los parámetros para identificarlos como son: Velocidad media de la onda de cortante, V_s ; el número medio de golpes, del ensayo de penetración estándar, SPT y del ensayo de corte directo, para determinar la resistencia al corte no drenada, S_u , para los suelos cohesivos; además se emplean adicionalmente para la clasificación de los suelos, el Índice de plasticidad, IP y el contenido de agua, w .*

El procedimiento de clasificación del suelo, descrito en la NSR-10, establece tres pasos, presentados con claridad en el literal A.2.4.5 de la citada norma.

c) *Se mantiene en general los cuatro grupos de Uso, que venían siendo utilizados en la NSR-98 y se realizan nuevas inclusiones en los grupos III y IV. Los valores del coeficiente de importancia para el Grupo de Uso IV es, $I=1.50$; para el III, $I=1.25$; para el II, $I=1.10$ y para el I, $I=1.00$.*

El espectro elástico de aceleraciones, S_a , para un coeficiente del 5% del amortiguamiento crítico, que debe utilizarse en el diseño, se define mediante la siguiente ecuación, según la norma, NSR-10:

$$S_a = \frac{1.2A_vF_vI}{T} \quad (\text{A.2.6-1})$$

Para periodos menores a T_c , calculado según la ecuación A.2.6-2, el valor de S_a se limita a:

$$T_0 = 0.1 \frac{A_vF_v}{A_aF_a} \quad \text{y el valor de } T_c \text{ como:}$$

$$T_c = 0.48 \frac{A_vF_v}{A_aF_a} \quad (\text{A.2.6-2})$$

$$S_a = 2.5A_aF_aI \quad (\text{A.2.6-3})$$

Para los periodos de vibración, mayores que T_L , calculado según A.2.6-4, el valor de S_a será igual:

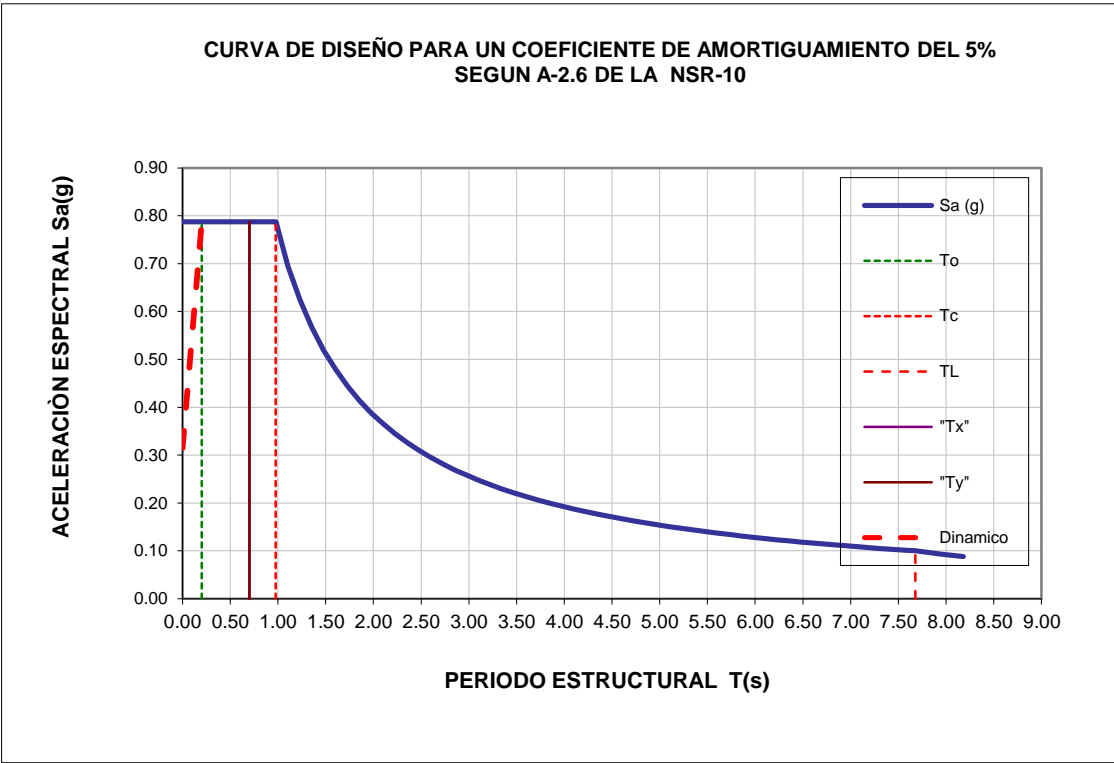
$$T_L = 2.4F_v \quad (\text{A.2.6-4})$$

$$S_a = \frac{1.2A_vF_vT_LI}{T^2} \quad (\text{A.2.6-5})$$

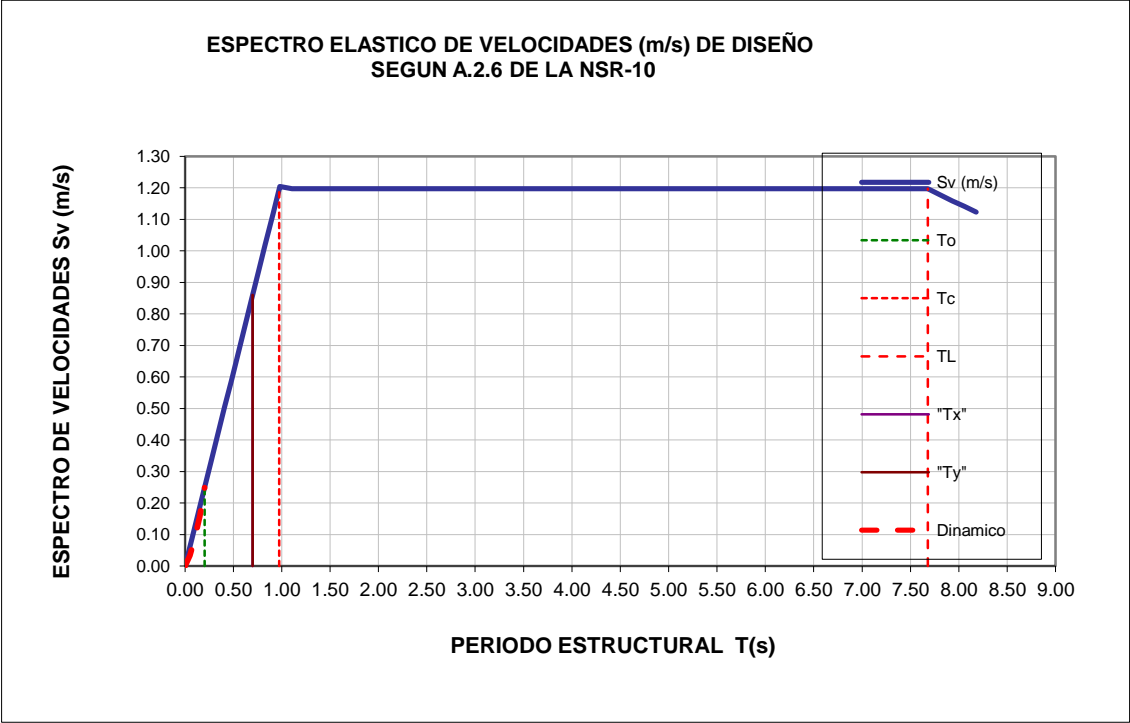
Al aplicar la norma actualizada NSR-10, al ejercicio del edificio de 5 pisos, con muros de cortante y periodo estructural de 0.70 segundos, se obtiene:

LOCALIZACIÓN:	BOGOTA D.C.		
Region:	4	Tipo de perfil:	E 180 m/s > Vs
Valores de Aa y Av:	0.2	Fa:	2.10
Amenaza Sismica:	Intermedia	Fv:	3.20
# de busqueda:	4	Grupo de Uso:	1 Estructuras de ocupacion normal
Ciudad:	Bogota D.C.		I= 1.00
Aa=	0.15	T_x=	0.700 seg
Av=	0.20	S_{ax} =	0.788 g
Amenaza Sismica:	Intermedia	S_{vx}=	0.860 m/s
Microzonificacion:	NO	S_{dx}=	0.096 m
# de Zona (1-17):	17 SIN MICROZONIFICACION	T_y=	0.700 seg
Espesor del deposito:	ND	S_{ay} =	0.788 g
Periodo del suelo:	ND s	S_{vy}=	0.860 m/s
Velocidad de onda, Vs:	ND m/s	S_{dy}=	0.096 m
Efectos esperados:	ND	Ø_{ax}=	1.00
F_a=	2.10	Ø_{px}=	1.00
F_v=	3.20	Ø_{rx}=	1.00
T₀=	0.20	R_x=	4.000
T_c=	0.98	R_{cx}=	4.000
T_L=	7.68	1/R_{cx}=	0.250
A₀=	ND	Ø_{ay}=	1.00
Sistema estructural (1 a 8):	8	Ø_{py}=	1.00
SISTEMA:	MUROS DE CONCRETO (DMO)		Ø_{ry}= 1.00
R₀=	4.00	R_y=	4.000
Ω₀=	2.50	R_{cy}=	4.000
Altura maxima=	50m	1/R_{cy}=	0.250
METODO DE LA F.H.E:		Est. Tipo pendulo:	NO
Altura del edificio=	15.00 m	R₀=	NA
Sist. de resist. sismica (1 a 5)=	5	1/R_{cx}=	NA
Sistema de resistencia:	MUROS DE CONCRETO REFORZADO		1/R_{cy}= NA
C_t=	0.049		
T_a=	0.74 s	α=	1.00
T_{max}=C_u*T_a=	0.88 s	C_u=	1.20 O.K.

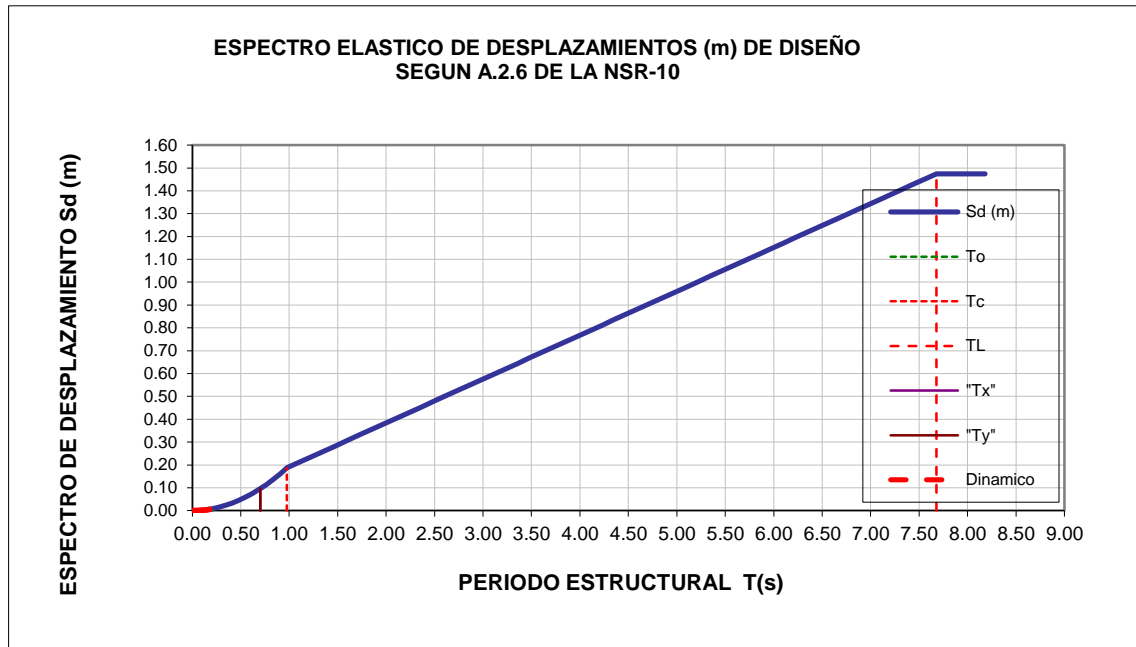
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10



Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10



Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10

La fuerza sísmica horizontal equivalente, para el edificio de 5 pisos y de conformidad a la ecuación A.4.3-1:

$$V_S = S_a g M \quad (A.4.3 - 1)$$

$V_S = 0.197 * W$, que se emplearía para el diseño de los elementos de concreto, al dividir la aceleración por el coeficiente de capacidad de disipación de energía R_C , una vez, se afecten por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía, correspondientes a la irregularidad en planta ϕ_p , irregularidad en altura ϕ_a y por ausencia de redundancia sísmica ϕ_r . Para la verificación del límite de las derivas de piso, el cortante que se utilizaría sería de, $V_s = 0.788 * W$

Para el periodo del edificio del ejemplo, le corresponde una velocidad, $V = 0.86$ m/s y un desplazamiento máximo en la cubierta, $\delta = 0.096$ m.

1.5 MICROZONIFICACION SISMICA DE LA CIUDAD DE BOGOTA D.C.

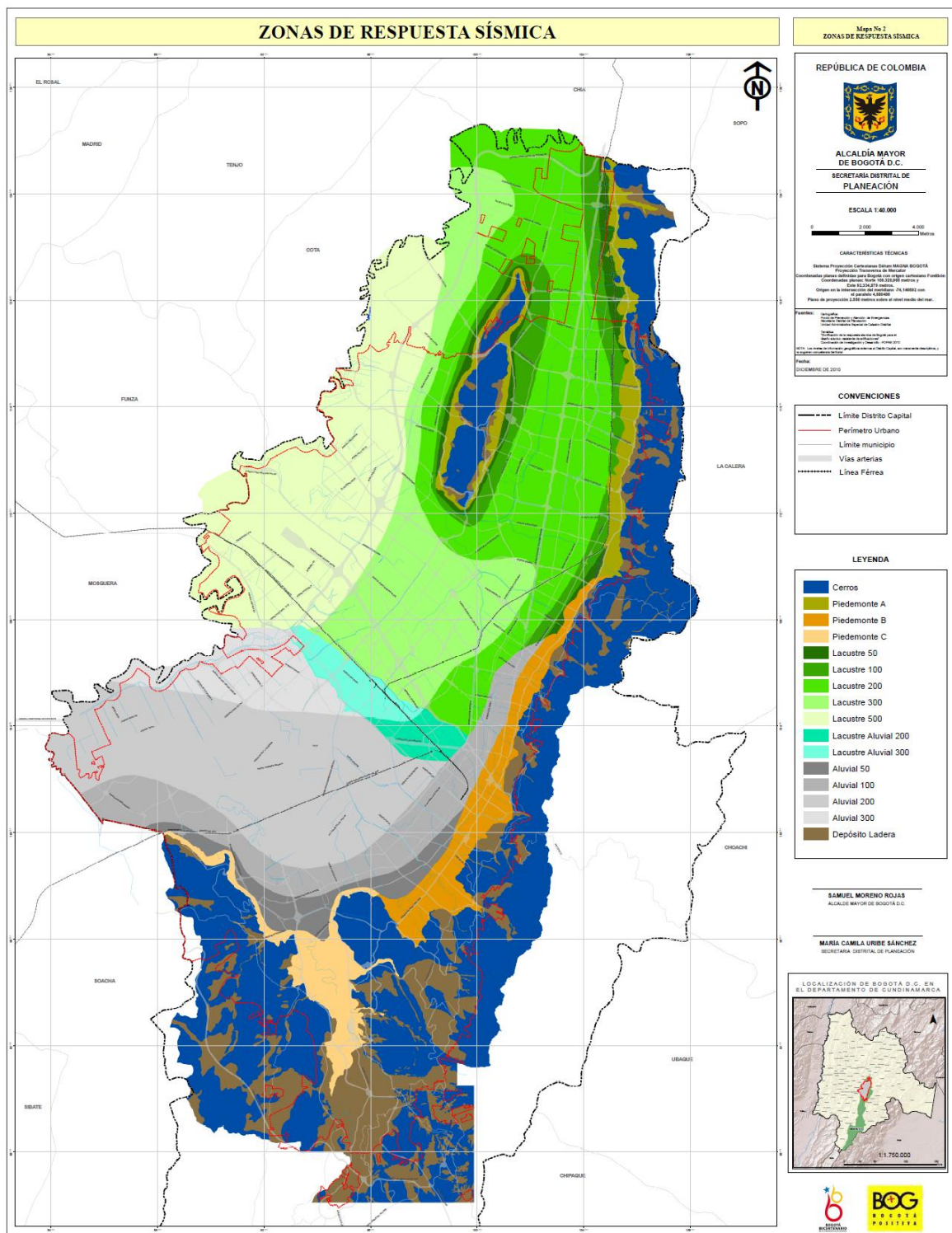
La Alcaldía de la ciudad de Bogotá, D.C., actuando de conformidad con los derroteros de la NSR-98 y posteriormente con los de la NSR-10, adelanto estudios locales de geología, geotecnia y evaluación de riesgo sísmico, para la promulgación de la microzonificación sísmica de la ciudad de Bogotá. Es así, que la ciudad de Bogotá, mediante el Decreto 523 del 16 de Diciembre de 2010, actualiza la microzonificación sísmica de Bogotá D.C., que mediante el Decreto 193 del 2006 venía aplicándose y adopta los estudios, que para tal fin, adelanto el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, FOPAE, dividiendo la

ciudad en 17 zonas geotécnicas y 16 zonas de respuesta sísmica, que a continuación se presentan en el mapa de Bogotá D.C., y se transcriben del Decreto mencionado:

Los coeficientes de diseño, F_a , F_v y A_0 se evaluaron para un periodo de retorno de 475 años, es decir, que corresponde a una probabilidad de excedencia del 10% en una vida útil de 50 años, (Gallego, 2000).

3.1. Coeficientes de diseño.					
Zona	F_a (475)	F_v (475)	T_c (s)	T_L (s)	A_0 (475) (g)
CERROS	1.35	1.30	0.62	3.00	0.18
PIEDEMONTA A	1.65	2.00	0.78	3.00	0.22
PIEDEMONTA B	1.95	1.70	0.56	3.00	0.26
PIEDEMONTA C	1.80	1.70	0.60	3.00	0.24
LACUSTRE-50	1.40	2.90	1.33	4.00	0.21
LACUSTRE-100	1.30	3.20	1.58	4.00	0.20
LACUSTRE-200	1.20	3.50	1.87	4.00	0.18
LACUSTRE-300	1.05	2.90	1.77	5.00	0.16
LACUSTRE-500	0.95	2.70	1.82	5.00	0.14
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.10	2.80	1.63	4.00	0.17
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.00	2.50	1.60	5.00	0.15
ALUVIAL-50	1.35	1.80	0.85	3.50	0.20
ALUVIAL-100	1.20	2.10	1.12	3.50	0.18
ALUVIAL-200	1.05	2.10	1.28	3.50	0.16
ALUVIAL-300	0.95	2.10	1.41	3.50	0.14
DEPÓSITO LADERA	1.65	1.70	0.66	3.00	0.22

Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10



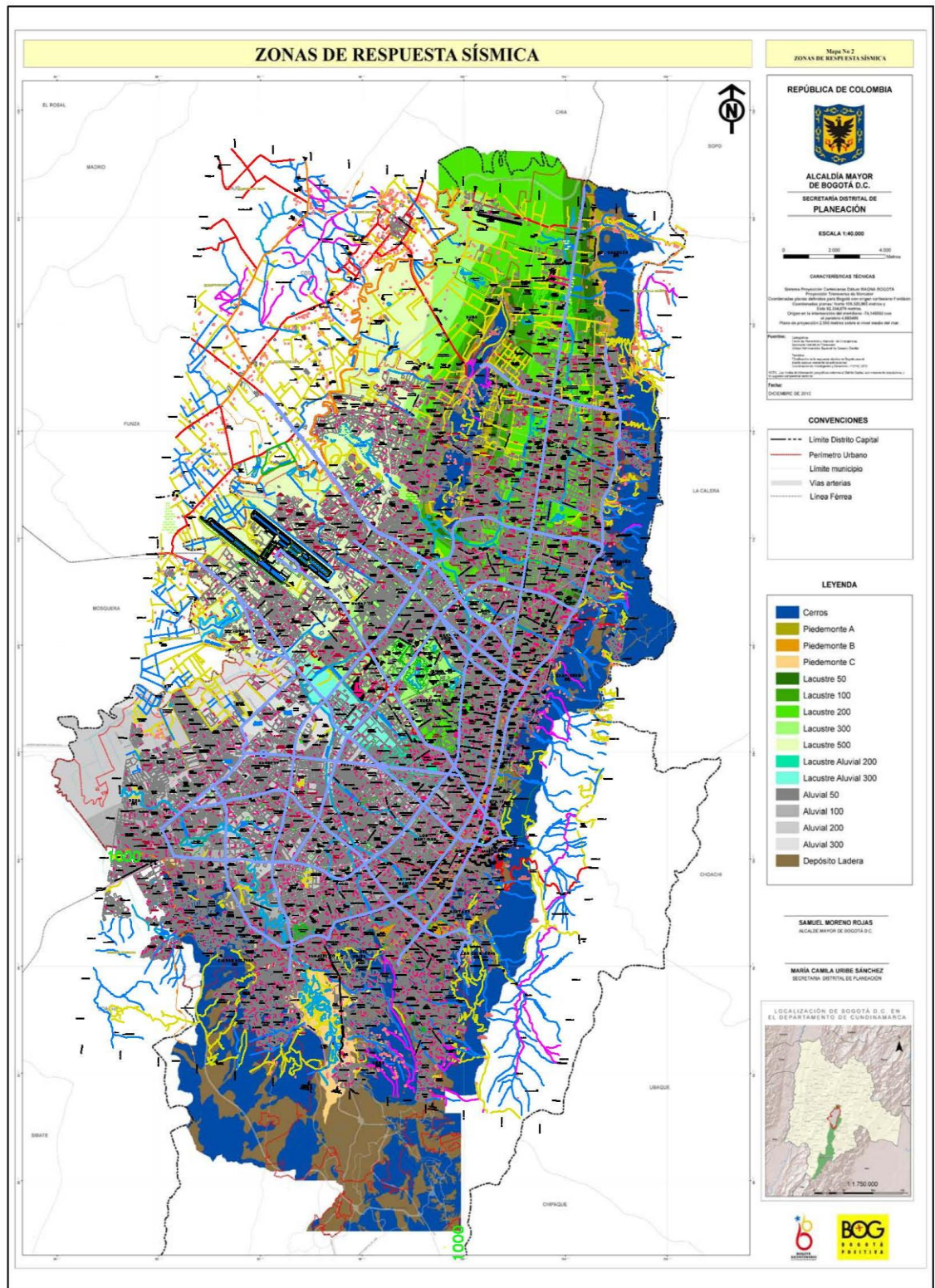
Fuente: Secretaría Distrital de Planeación, Mapa de zonas de respuesta sísmica de la sabana

Tabla 1. Descripción de las zonas geotécnicas.					
Nombre	Geotecnia	Geología	Geomorfología	Composición principal	Comportamiento geotécnico general
Cerros A	Roca de arenisca	Formaciones de Areniscas	Cerros de alta pendiente	Areniscas duras	Rocas competentes y resistentes a la meteorización, eventuales problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas o con intercalaciones de arcillolitas blandas
Cerros B	Roca de arcillolita	Formaciones de Arcillolitas	Cerros de moderada a alta pendiente	Arcillolitas blandas	Rocas de moderada competencia y susceptibles a la meteorización, problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas
Piedemonte A	Suelo coluvial y aluvial norte	Coluviones y Complejo de Conos Aluviales	Piedemonte	Gravas arcillo arenosas compactas	Suelos de alta capacidad portante pero pueden presentar problemas de inestabilidad en excavaciones abiertas
Piedemonte B	Suelo coluvial y aluvial centro			Gravas arena arcillosas compactas	
Piedemonte C	Suelo coluvial y aluvial sur			Gravas arena arcillosas compactas	
Lacustre A	Suelo lacustre muy blando	Terraza Alta - Lacustre	Planicie	Arcillas limosas muy blandas	Suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresibles
Lacustre B	Suelo lacustre blando			Arcillas limosas blandas	
Lacustre C	Suelo lacustre - aluvial			Arcillas arenosas firmes	
Aluvial	Suelo aluvial grueso a medio	Terraza Baja - Aluvial y Complejo de Conos Aluviales	Planicie	Arenas arcillosas sueltas a compactas	Suelos de mediana a alta capacidad portante poco compresibles, susceptibles a licuación e inestables en excavaciones a cielo abierto
Llanura A	Suelo de llanura - lacustre	Llanura de Inundación	Llanura	Arenas sueltas y arcillas limosas blandas	Suelos de moderada capacidad portante y compresibles, susceptibles a licuación
Llanura B	Suelo de llanura - aluvial			Arenas sueltas y arcillas arenosas duras	
Cauce	Cauce activo o antiguo	Cauces Activos	Piedemonte y Planicie	Gravas arenosas sueltas a compactas	Suelos de baja a mediana capacidad portante, susceptibles a licuación y problemas de estabilidad de taludes
Depósitos	Suelo de ladera	Depósitos de Ladera	Cerros	Gravas arena arcillosas compactas	Suelos de mediana capacidad portante susceptibles a problemas de estabilidad de taludes
Residual	Suelo residual	Suelo Residual	Cerros	Arcillas gravo arenosas firmes	Suelos de mediana a alta capacidad portante con posibles problemas de estabilidad de taludes en sectores de alta pendiente
Basura	Relleno de basura	Rellenos de Basuras	Piedemonte y Planicie	Basuras	Materiales heterogéneos, que acuerdo con su disposición pueden ser compresibles y susceptibles a problemas de estabilidad en taludes
Relleno	Relleno de excavación	Rellenos de Excavación	Piedemonte y Planicie	Rellenos heterogéneos	Materiales heterogéneos, que acuerdo con su disposición pueden ser compresibles y susceptibles a problemas de estabilidad en taludes
Excavación	Excavación especial	Excavaciones Especiales	Piedemonte	Gravas arenosas sueltas a compactas	Zonas de explotación de agregados en el Río Tunjuelo, susceptibles a problemas de estabilidad de taludes

Fuente: Decreto 523 de 2010

Tabla 2. Descripción de las zonas de respuesta sísmica.						
Zona	Espesor del depósito (m)	Periodo fundamental del suelo (s)	Descripción Geotécnica General	Velocidad onda promedio 50 m Vs (m/s)	Humedad Promedio 50 m Hn (%)	Efectos de sitio relacionados
Cerro	-	<0.3	Rocas sedimentarias y depósitos de ladera con espesores inferiores a 6 m	>750	<10	Topográfico
Piedemonte A	<50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con intercalaciones de arcillas blandas: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o arena arcillosa, capas de arcillas blandas.	200 - 750	10-80	Topográfico, amplificación
Piedemonte B	<50	0.3-0.6	Suelo coluvial y aluvial con espesor superior a 12 m: Bloques, cantos y gravas con matriz arcillo arenosas o arena	300 - 750	10-30	Topográfico, amplificación
Piedemonte C	<50	0.3-0.6				
Lacustre-50	<50	1.0-1.5	Suelo lacustre blando: Arcillas limosas o limos arcillosos, en algunos sectores con intercalaciones de lentes de turba	<175	>80	Amplificación
Lacustre-100	50-100	1.5-2.5				Amplificación
Lacustre-200	100-200	2.5-3.5				Amplificación
Lacustre-300	200-300	3.5-4.5				Amplificación
Lacustre-500	300-500	4.5-6.5				Amplificación
Lacustre Aluvial-200	100-200	2.0-3.0	Suelo lacustre con intercalaciones de aluvial: Arcillas limosas o limos arcillosos con lentes de turba y capas de arenas compactas	<200	>60	Amplificación
Lacustre Aluvial-300	200-300	3.0-4.0				Amplificación
Aluvial-50	<50	0.4-0.8	Suelo aluvial duro: Arcillas limosas o arenas arcillosos o limos arenosos, en algunos sectores se encuentran lentes de arenas limpias	175 - 300	25 - 50	Amplificación, licuación
Aluvial-100	50-100	0.8-1.2				Amplificación, licuación
Aluvial-200	100-200	1.2-2.5				Amplificación, licuación
Aluvial-300	200-300	2.5-4.0				Amplificación, licuación
Depósito Ladera	6-25	<0.3	Depósitos de ladera con espesores superiores a 6 m de composición variable.	Variable según depósito	Variable según el tipo de depósito	Topografico

Fuente: Decreto 523 de 2010



Fuente: Mapa de zonas de respuesta sísmica de la sabana, elaborado por la Secretaría Distrital de Planeación con edición del autor

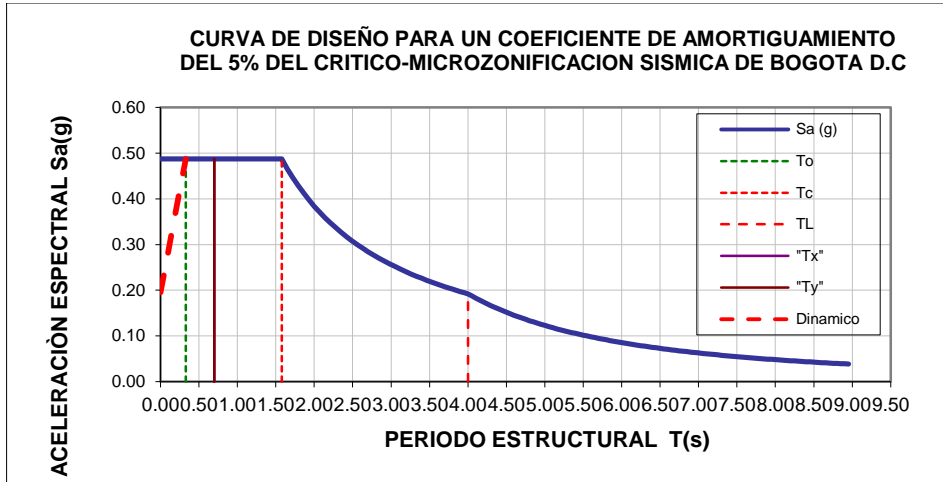
Aplicando los coeficientes de la tabla 3.1 de la microzonificación sísmica de Bogotá D.C., actualizada, al ejemplo del edificio de 5 pisos, tenemos:

LOCALIZACIÓN:	BOGOTA D.C.				
Region:	4		Tipo de perfil:	E	LACUSTRE 100
Valores de Aa y Av:	0.2		Fa:	1.30	
Amenaza Sísmica:	Intermedia		Fv:	3.20	
# de búsqueda:	4		Grupo de Uso:	1	Estructuras de ocupación normal
Ciudad:	Bogota D.C.		I=	1.00	
Aa=	0.15		T_x=	0.700	seg
Av=	0.20		S_{ax}=	0.488	g
Amenaza Sísmica:	Intermedia		S_{vx}=	0.532	m/s
Microzonificación:	SI		S_{dx}=	0.059	m
# de Zona (1-16):	6	LACUSTRE 100	T_y=	0.700	seg
Espesor del depósito:	500m-100m		S_{ay}=	0.488	g
Periodo del suelo:	1.50-2.5 s		S_{vy}=	0.532	m/s
Velocidad de onda, Vs:	<175	m/s	S_{dy}=	0.059	m
Efectos esperados:	Amplificación		Ø_{ax}=	1.00	
F_a=	1.30		Ø_{px}=	1.00	
F_v=	3.20		Ø_{rx}=	1.00	
T₀=	0.33		R_x=	4.000	
T_c=	1.58		R_{cx}=	4.000	
T_L=	4.00		1/R_{cx}=	0.250	
A₀=	0.20		Ø_{ay}=	1.00	
Sistema estructural (1 a 7):	8		Ø_{py}=	1.00	
SISTEMA:	MUROS DE CONCRETO (DMO)		Ø_{ry}=	1.00	
R₀=	4.00		R_y=	4.000	
Ω₀=	2.50		R_{cy}=	4.000	
Altura máxima=	50m		1/R_{cy}=	0.250	
METODO DE LA F.H.E:			Est. Tipo pendulo:	NO	
Altura del edificio=	15.00	m	R₀=	NA	
Sist. de resist. sísmica (1 a 5)=	5		1/R_{cx}=	NA	
Sistema de resistencia:	MUROS DE CONCRETO REFORZADO		1/R_{cy}=	NA	
C_t=	0.049				
T_a=	0.74	s	a=	1.00	
T_{max}=C_u*T_a=	0.88	s	C_u=	1.20	O.K.

Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10

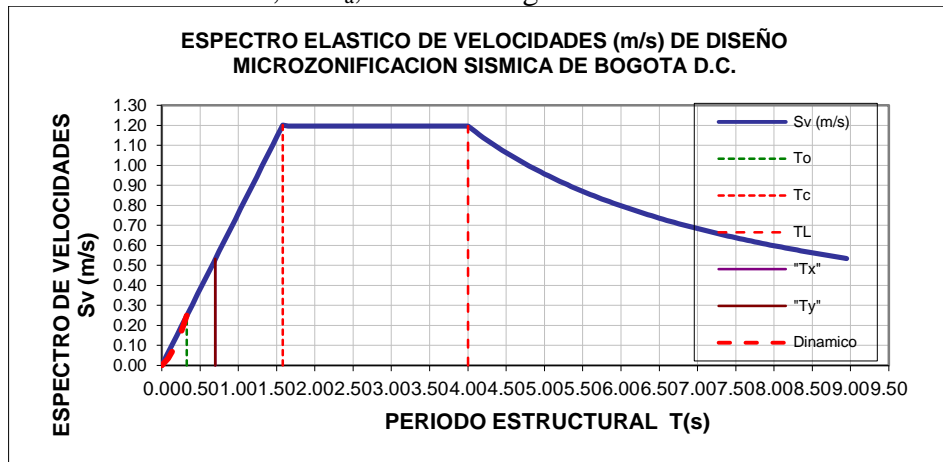
La fuerza sísmica horizontal equivalente, aplicando la microzonificación sísmica vigente para la ciudad de Bogotá D.C.; para un edificio de 5 pisos y conforme a la ecuación A.4.3-1, arroja un cortante basal de, $V_S=0.122W$, que se utiliza para el diseño de los elementos de concreto. Para la verificación del límite de las derivas se utiliza el cortante basal sin dividir por "R", cuyo valor resulta $V_S=0.488W$.

Los espectros para el análisis sísmico, correspondientes a la aceleración, velocidad y desplazamiento, solicitados por el Decreto 523 de 2010, para la microzonificación de Bogotá D.C., (NSR-10, sección A.2.9) , para el ejemplo:



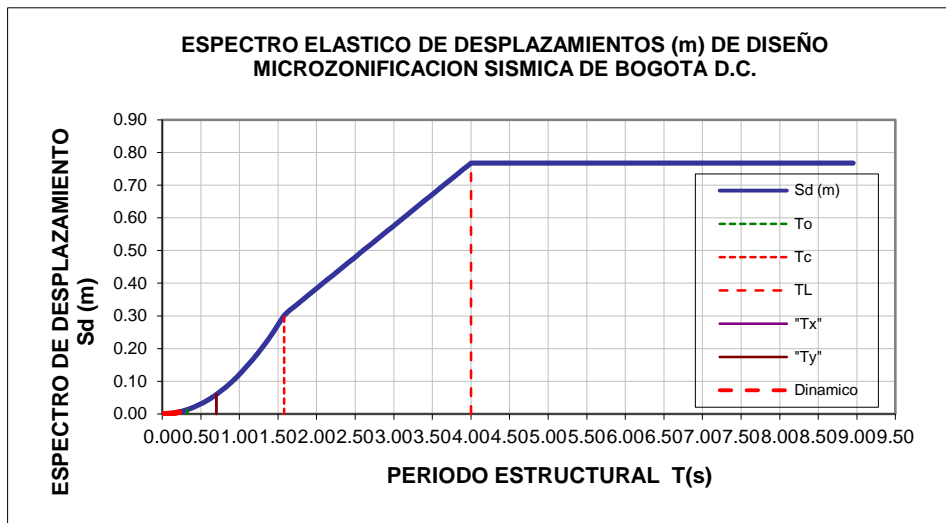
Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10

El valor máximo en la meseta, de S_a , es de 0.488g



Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10

El valor de la velocidad correspondiente al periodo de 70s, es de: $V=0.532$ m/s.

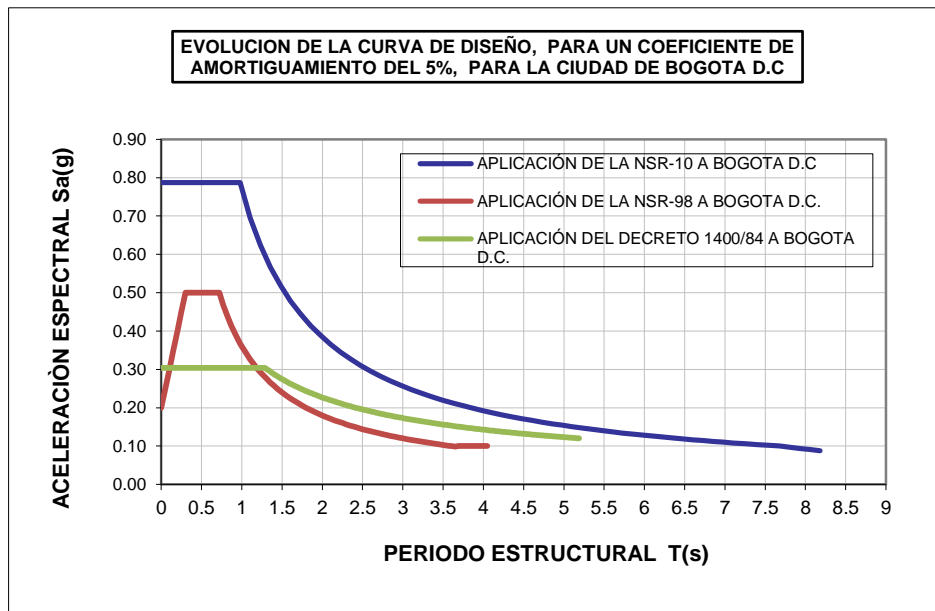


Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10

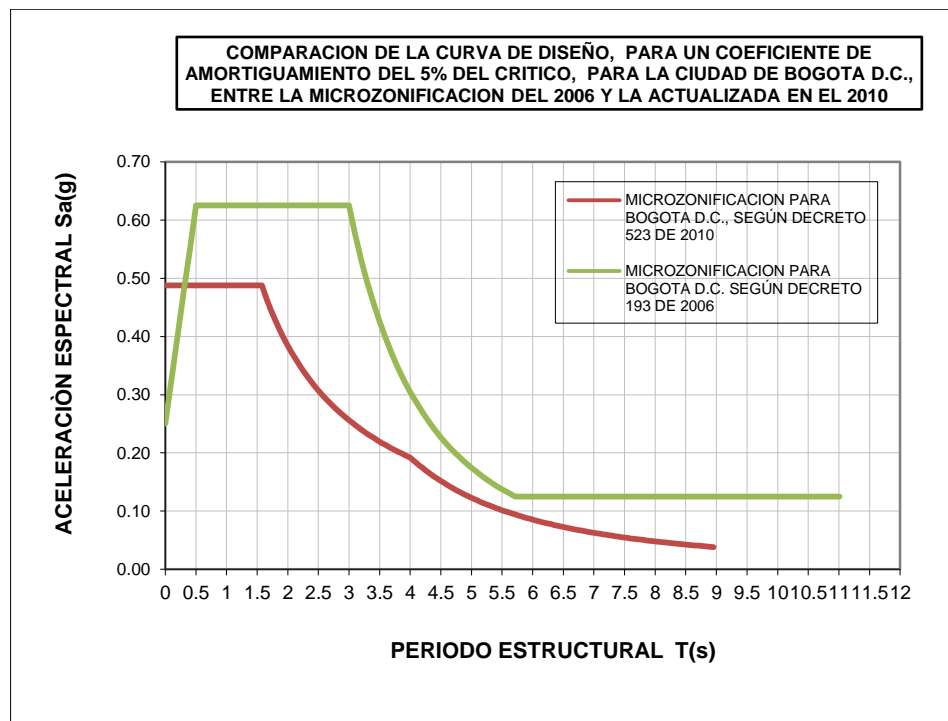
El desplazamiento máximo esperado en la cubierta es de $\delta=0.059\text{m}$. Al comparar la evolución de los espectros de diseño que se han aplicado, para la ciudad de Bogotá D.C., desde el año de 1970 hasta la fecha, se observa que para el edificio de 5 pisos, con un periodo fundamental de 0.70s, la ordenada de la aceleración espectral ha tenido una variación desde su inicio en el año de 1984, de $S_a=0.30\text{g}$, hasta $S_a=0.79\text{g}$, para el año 2013; es decir que se ha incrementado en el 163%.

De otra parte, al comparar la primera microzonificación, adoptada en el 2006 con la actualizada en el año 2010, es notorio el acortamiento de los periodos, que conforman la meseta del espectro de aceleraciones, se reducen en un 189.87%, pasando de un periodo de $T=3.00\text{s}$, en el 2006; a $T=1.58\text{s}$, en el 2010; De otra parte la aceleración espectral, también decrece en un 128.57%, pasando de $S_a=0.63\text{g}$ en el 2006; a $S_a=0.49\text{g}$ en el 2010.

A continuación se muestran las gráficas superpuestas de los espectros sin microzonificación, adoptados desde 1984 hasta el año 2010, (vigente a la fecha) y se comparan las dos microzonificaciones adoptadas para la ciudad de Bogotá en el 2006 y el 2010.



Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10



Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10

Para tratar el tema, de los suelos blandos, en la Sabana de Bogotá, es imperativo conocer la geología de la sabana y los diferentes tipos de estructuras de falla y sistemas que gobiernan la tectónica de la ciudad. De esta forma se puede valorar objetivamente, los riesgos sísmicos sobre la ciudad de Bogotá D.C. En el Anexo 2 se presenta una reseña, tomada del INGEOMINAS, sobre la geología de la Sabana de Bogotá y sus diferentes fallas.

CAPITULO 2. PARAMETROS ELASTICOS, MODULOS DE CORTE AMORTIGUAMIENTO DE LOS SUELOS

2.1 COEFICIENTES ELASTICOS DEL SUELO

Los coeficientes elásticos de los medios isótropos y homogéneos, son únicamente dos y se representan por los términos paramétricos de Lamé y de Young (E), conjuntamente con la relación de Poisson (μ) y las velocidades de las ondas P y S. En términos de los parámetros de Lamé, se suelen presentar así:

$$C_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad y \quad C_s = \sqrt{\frac{\lambda}{\rho}} \quad E - 2.1$$

ρ : Representa la densidad del medio

Si se mide la densidad y las velocidades de propagación, es posible calcular indirectamente los parámetros de Lamé. La ley de Hooke en términos del módulo de Young y la relación de Poisson es:

$$E e_{ij} = (1 + \nu)\sigma_{ij} - \nu t_r(\sigma)\delta_{ij} \quad E - 2.2$$

Para una deformación de volumen, con un cambio en el continuo, que se describe como un tensor de deformación diagonal $e_{ij} = e\delta_{ij}$, la ley de Hooke conduce a que los esfuerzos se pueden representar así:

$$\sigma_{ij} = 3\lambda e + 2\mu e\delta_{ij} \quad E - 2.3$$

Para este caso, $\sigma_{ij} = 0$ si $i \neq j$ y $\sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{33} = 3\kappa e$, donde:

$$\kappa = \lambda + \frac{2}{3}\mu \quad (\text{Llamado modulo de incompresibilidad}) \quad E - 2.4$$

En las pruebas de esfuerzo un axial, aplicando un esfuerzo a lo largo de una dirección, (como ocurre con el ensayo de compresión encofinada, donde se aplica una carga sobre el eje longitudinal de un cilindro de suelo, dejando la superficie lateral libre), de manera que solo el esfuerzo σ_{11} no es nulo y sus demás componentes no nulas del tensor de deformación pueden representarse como:

$$e_{11} = \frac{\sigma_1}{E} \quad E - 2.5$$

$$e_{22} = e_{33} = -\nu \frac{\sigma_1}{E} \quad E - 2.6$$

Aplicando la teoría de la elasticidad a la sismología, la tierra es un modelo de capas concéntricas constituidas por materiales isotrópicos, que se describen por sus constantes elásticas, tales como:

VALORES TÍPICOS DE LAS CONSTANTES ELÁSTICAS DE LA TIERRA					
Profundidad km	λ	μ	κ	E	ν
20	0.429	0.323	0.645	0.830	0.285
1,000	2.180	1.820	3.420	4.630	0.272
2,599	4.195	2.723	6.011	7.096	0.303
las unidades para: λ , μ , κ y E son 10^{11} N/m ²					

La traza del esfuerzo será:

$$tr(\sigma) = 3 \left(\lambda + \frac{2}{3} \mu \right) \Theta = 3\kappa\Theta \quad E - 2.7$$

$$E\Theta = (1 - 2\nu)tr(\sigma) \quad E - 2.8$$

De donde se pueden establecer las siguientes relaciones:

$$3\kappa = \frac{E}{1 - 2\nu}, \quad \mu = \frac{E}{1 + \nu} \quad E - 2.9$$

$$2\nu = \frac{3\kappa - 2\mu}{3\kappa + \mu}, \quad \frac{3}{\kappa} = \frac{1}{\mu} + \frac{1}{3\kappa} \quad E - 2.10$$

Los módulos de rigidez y de volumen (μ y κ respectivamente), tienen que ser positivos, por lo tanto $E > 0$ y $-1.0 < \nu < 0.50$. Para el caso límite de incompresibilidad total correspondiente a tomar $\kappa \rightarrow \infty$ con μ fijo, implica que $E \rightarrow 3\mu$ y $\nu \rightarrow \frac{1}{2}$, a grandes profundidades, 2500 km, la compresibilidad tiende a aumentar. Otras relaciones importantes son:

Modulo cortante máximo

$$G_{\max} = \rho V_s^2$$

Donde,

ρ = densidad es decir el peso unitario con agua.

V_s = Velocidad de onda secundaria

Coeficiente de Poisson

$$\mu = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}$$

Donde,

V_p y V_s son las velocidades de onda obtenidas anteriormente.

Modulo de Young

$$E = 2G(1 + \mu)$$

G = Modulo Cortante

μ = Coeficiente de Poisson.

Modulo de Bulk o de Volumen

$$K = \frac{1}{3} \frac{E}{(1 - 2\mu)}$$

E = Modulo de Young

μ = Coeficiente de Poisson.

Para la normalización del módulo de corte G/G_{MAX} y el amortiguamiento “D” se presenta en el anexo 3, un resumen del trabajo denominado: “Normalized Shear Modulus and Material Damping Ratio Relationships”, realizado por Jianfeng Zhang¹; Ronald D. Andrus²; and C. Hsein Juang³

- **ISHIBASHI Y ZHANG** (1993), presentaron las siguientes ecuaciones para evaluar los valores de $\frac{G}{G_{max}}$:

$$\frac{G}{G_{max}} = \kappa_{(\lambda)} \sigma'_0 m_{(y)} - m_0 \quad E-2.11$$

$$\kappa_{(y)} = 0.50 * \left[1 + \tanh * \left\{ l_n * \left(\frac{0.000102}{\gamma} \right)^{0.492} \right\} \right] \quad E-2.12$$

$$m_{(y)} - m_0 = 0.272 * \left[1 - \tanh * \left\{ l_n * \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.40} \right\} \right] \quad E-2.13$$

$$D_{sand} = 0.333 * \left\{ 0.586 * \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 * \left(\frac{G}{G_{max}} \right) + 1 \right\} \quad E-2.14$$

- **KRAMER** (1996), propuso la siguiente expresión para evaluar las Deformaciones en arcillas:

$$\xi = \frac{W_D}{4\pi W_s} = \frac{A_{lazo}}{2\pi * G_{sec} * \gamma_c^2} \quad E-2.15$$

$$\xi = 0.333 * \frac{1 + e^{-0.145 * PI^{1.3}}}{2} * \left[0.586 * \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - \left(1.547 * \frac{G}{G_{max}} \right) + 1 \right]$$

$$\frac{1 + e^{-0.145 * PI^{1.20}}}{2} = 0.50 \quad E-2.16$$

- Otra forma de hacer la curva de degradación del modulo de corte y amortiguamiento es mediante los **modelos de Zhang et al., 2005** y **Díaz Parra, 2007**, cuya formulación es:

Modelo Zhang et al., 2005

$$\frac{G}{G_{MAX}} = \frac{1}{1 + \left[\frac{\gamma}{\gamma_r}\right]^\alpha}$$

$$\alpha = 0.0021PI + 0.834$$

$$\gamma_r = \gamma_{r1} \left[\frac{\sigma'_m}{P_a}\right]^k$$

$$\sigma'_m = \frac{(\sigma'_v + 2\sigma'_h)}{3} = \sigma'_v \frac{(1 + 2k'_0)}{3}$$

$$k = 0.316 \cdot e^{-0.0142PI}$$

$$\gamma_{r1} = 0.0011PI + 0.0749$$

$$D = f\left(\frac{G}{G_{MAX}}\right) + D_{MIN}$$

$$f\left(\frac{G}{G_{MAX}}\right) = 10.6 \cdot \left(\frac{G}{G_{MAX}}\right)^2 - 31.6 \cdot \left(\frac{G}{G_{MAX}}\right) + 21$$

$$D_{MIN} = D_{MIN1} \cdot \left(\frac{\sigma'_m}{P_a}\right)^{-\frac{k}{2}}$$

$$D_{MIN1} = 0.008 \cdot PI + 0.82$$

Modelo Díaz-Parra, 2007

$$\frac{G}{G_{MAX}} = \frac{1}{1 + \left[\frac{\gamma}{\gamma_r}\right]^s}$$

Arcillas, $s = 0.919$ y Arenas, $s = 0.85$

$$\gamma_{ref} = (c \cdot e_0) \left[\frac{\sigma'_0}{P_a}\right]^m$$

$$m = 0.35 \quad c = 0.0756$$

$$D = F \cdot D_{Masing} + D_{MIN}$$

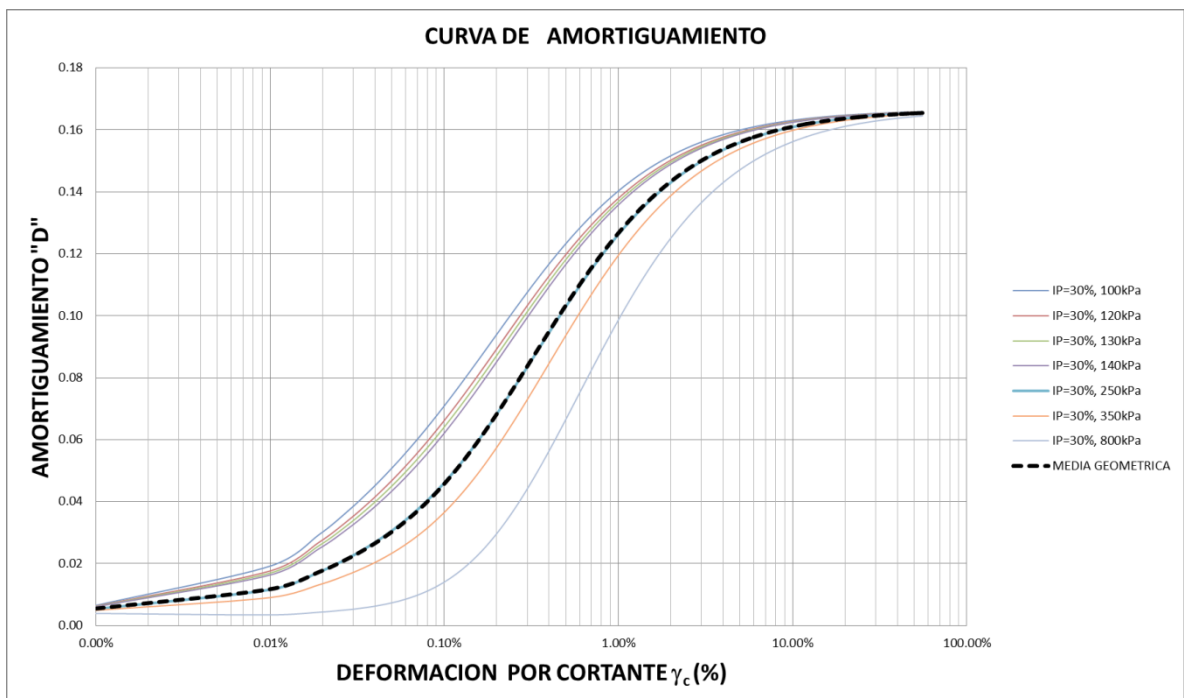
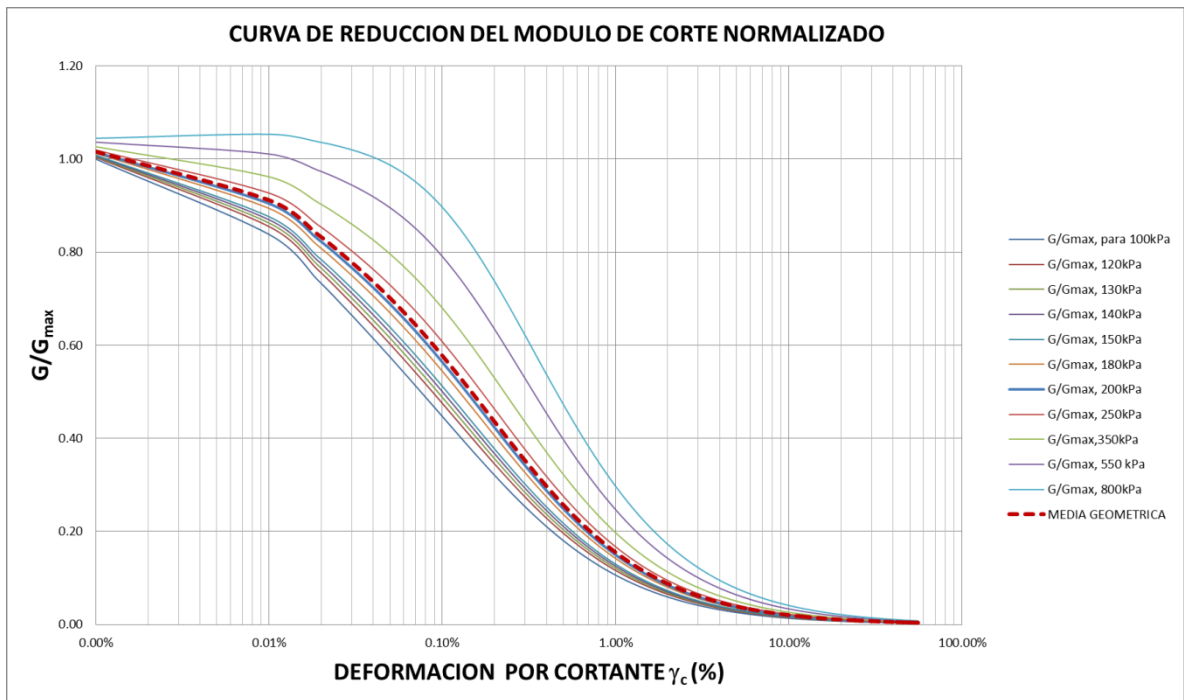
$$F = \alpha \left(\frac{G}{G_{MAX}}\right)^\beta ; \quad D_{Masing} \approx 33 \left(1 - \frac{G}{G_{MAX}}\right)$$

$$\alpha = 0.62\% \quad \text{y} \quad \beta = 0.10$$

$$D_{MIN} = \delta \cdot \left(\frac{\sigma'_0}{P_a}\right)^{-\eta} \quad \eta = 0.30$$

Arcillas, $\delta = 1.0\%$ y para Arenas, $\delta = 0.50\%$

- En el siguiente ejemplo se calcula para un suelo con un coeficiente de Poisson de $\mu=0.35$, las graficas de G/G_{\max} y de amortiguamiento:



- Ver en el Anexo 3 el artículo “*Normalized Shear Modulus and Material Damping Ratio Relationships*”, realizado por Jianfeng Zhang¹; Ronald D. Andrus²; and C. Hsein Juang³.

En el Anexo 2, se hace la presentación sobre la Geología de la Sabana de Bogotá. Que puede resumirse así:

- En la mayor parte de la ciudad, se encuentran **depósitos de origen Lacustre**, conformados por **arcillas y limos de alta plasticidad (CH y MH)**, con espesores que varían entre los 250 y 500m, con intercalaciones de materiales volcánicos y turbosos, que disminuyen hacia el piedemonte.
- En la transición, entre las formaciones rocosas y los depósitos lacustres, que ocurren en la zona del piedemonte, existen condiciones especiales por la mezcla de materiales coluviales, aluviales, Lacustres y a la presencia de acuíferos artesianos, González (2013).
- El lago sabanero se formó por sedimentación y se cree que se seco hace 10,000 años. Estos suelos arcillosos, sufren consolidación primaria o son normalmente consolidados, y con una **relación de vacíos cercana a 4**, Orozco (2013), y por efecto de su propio peso, continuarán consolidándose, hasta convertirse en arcillolitas.
- La costra superficial, con espesor de **2.0 a 3.0m** esta sobre consolidada por **deseccación**

PERFIL GEOTECNICO ESTACION INGEOMINAS CBOG1											
No Capa	Material	DESCRIPCION GEOTECNICA	Tramo desde (m)	Tramo hasta (m)	Esp Estrato (m)	wn (%)	eo	IP	Peso unitario gr/cm ³	Vref m/s	Vs modelado m/s
1	CH-MH	Arcilla ligeramente limosa, gris	0.00	5.00	5.00	43	1.10	45	1.80	170	137
2	CH	Arcilla, gris rosado palido.	5.00	7.00	2.00	79	1.90	92	1.65	170	157
3	CH	Arcilla, gris marrón.	7.00	12.00	5.00	127	2.91	151	1.40	170	161
4	CH	Arcilla, gris oliva.	12.00	17.00	5.00	119	2.88	149	1.38	170	166
5	CH	Arcilla, marrón.	17.00	21.00	4.00	116	2.78	143	1.43	170	169
6	PT	Turba.	21.00	23.00	2.00	300	5.50	270	1.00	150	151
7	CH	Arcilla, marrón amarillento oscuro.	23.00	30.00	7.00	87	2.70	122	1.45	170	174
8	CL	Arcilla arcillosa fina-media, marrón amarillo.	30.00	38.00	8.00	28	0.96	17	1.95	285	305
9	CH	Arcilla limosa, marrón amarillento oscuro.	38.00	44.50	6.50	52	1.32	46	1.75	175	196
10	CH	Arcilla, gris oliva, turba arcillosa negra.	44.50	52.50	8.00	81	2.10	104	1.55	175	201
11	PT	Turba.	52.50	58.00	5.50	120	2.95	155	1.34	150	175
12	CH	Arcilla arenosa gris oliva.	58.00	67.00	9.00	37	1.00	38	1.90	175	208
13	PT	Turba.	67.00	69.00	2.00	120	2.95	155	1.30	150	182
14	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	69.00	80.00	11.00	26	1.05	23	1.95	285	352
15	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	80.00	100.00	20.00	25	1.05	22	1.95	285	368
16	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	100.00	120.00	20.00	20	0.95	14	1.95	285	384
17	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	120.00	140.00	20.00	27	1.05	24	1.95	285	398
18	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	140.00	152.00	12.00	27	1.05	0	1.95	285	408
19	CH	Arcilla gris y marrón.	152.00	157.00	5.00	29	0.90	27	1.80	175	253
20	PT	Turba.	157.00	159.00	2.00	120	2.00	155	1.30	150	218
21	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	159.00	180.00	21.00	40	1.15	42	1.95	285	419

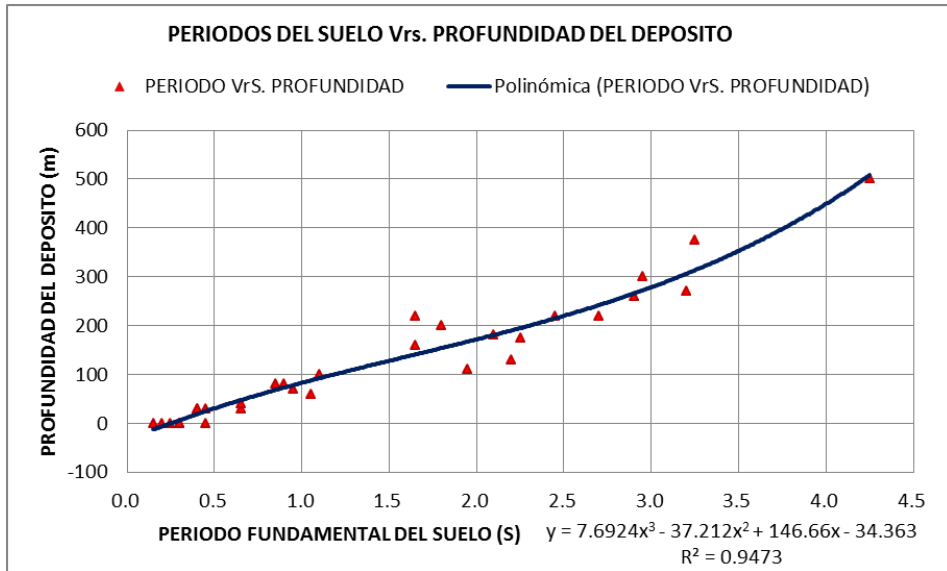
Tomado del estudio del DPAE-"Procesamiento e interpretación de Señales de la RAB"

Más adelante se aplicara a este perfil de suelo, el sismo de Quetame de 2008 y se hallaran las propiedades dinámicas para 5 tipos de muestras a varias profundidades.

A continuación se presentan algunos ensayos para caracterizar dinámicamente los suelos, que son necesarios para realizar un análisis dinámico adecuado.

Tabla 11. Valores estimados de la velocidad de onda promedio del depósito hasta la roca						
CODIGO	NOMBRE	GRUPO	T fundamental (s)	H Profundidad (m)	Vs promedio metodo 1 (m/s)	Vs promedio metodo 2 (m/s)
CEING	ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA	LACUSTRE	1.95	110	226	
CUSAL	UNIVERSIDAD DE LA SALLE	PIEDEMONTE	0.65	30	185	
CBOSA	COLEGIO FERNANDO MAZUERA	ALUVIAL	0.95	70	295	
CCORP	UNIVERSIDAD CORPAS	LACUSTRE	2.7	220	326	
CUAGR	UNIAGRARIA	LACUSTRE	2.2	130	236	249
CPSUB	ACADEMIA DE POLICIA	CERRO	0.45	0		
CUSAQ	COLONIA ESCOLAR DE USAQUEN	PIEDEMONTE	0.45	30	267	
CESCA	ESCUELA DE CABALLERIA	CERRO	0.3	0		
CBANC	BANCO DE LA REPUBLICA	LACUSTRE	1.05	60	229	
CTVCA	T.V. CABLE	CERRO	0.25	0		
CFLOD	PARQUE LA FLORIDA	LACUSTRE	4.25	500	471	
CAVIA	AVIANCA	LACUSTRE	2.95	300	407	
CFONT	PLANTA DE BOMBEO FONTIBON	LACUSTRE	3.2	270	338	
CNIÑO	CENTRO DE ESTUDIOS DEL NINO	LACUSTRE	2.45	220	359	
CJABO	JARDÍN BOTANICO	LACUSTRE	2.9	260	359	
CBART	COLEGIO SAN BARTOLOME	CERRO	0.3	0		
CUNMA	UNIVERSIDAD MANUELA BELTRAN	CERRO	0.2	0		
CDIOS	HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS	PIEDEMONTE	0.65	40	246	
CCITE	CITEC	ALUVIAL	1.8	200	444	
CTIEM	CLUB EL TIEMPO	LACUSTRE	3.25	375	462	
CTIMI	PARQUE TIMIZA	ALUVIAL	1.65	160	388	
CTUNA	PARQUE TUNAL	ALUVIAL	0.9	80	356	
CARTI	ESCUELA DE ARTILLERIA	PIEDEMONTE	0.4	30	300	
CMARI	BOMBEROS MARICHUELA	PIEDEMONTE	0.4	30	300	
CSMOR	COLEGIO SIERRA MORENA	CERRO	0.3	0		
CTEJE	ESCUELA DE TEJEDORES	ALUVIAL	0.85	80	376	
CVITE	TANQUES DE VITELMA	CERRO	0.15	0		
CLAGO	COLEGIO LAUREANO GOMEZ	LACUSTRE	2.25	175	311	
CGRAL	ESCUELA GENERAL SANTANDER	ALUVIAL	1.1	100	364	334
CCKEN	COL-KENNEDY	ALUVIAL	1.65	220	533	
CBOG1	INGEOMINAS	LACUSTRE	2.1	180	343	368

Tomado de: PROCESAMIENTO E INTERPRETACION DE SEÑALES DE LA RED DE ACCELERÓGRAFOS DE BOGOTA-RAB. - FOPAE, PAG. 50

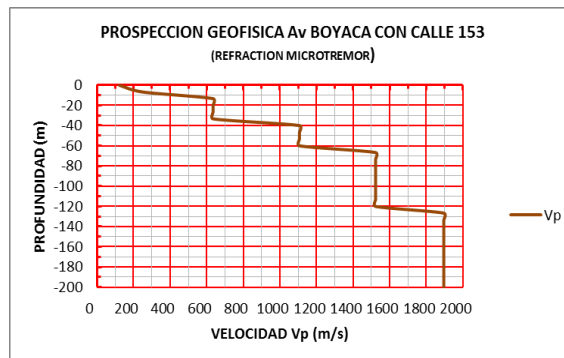
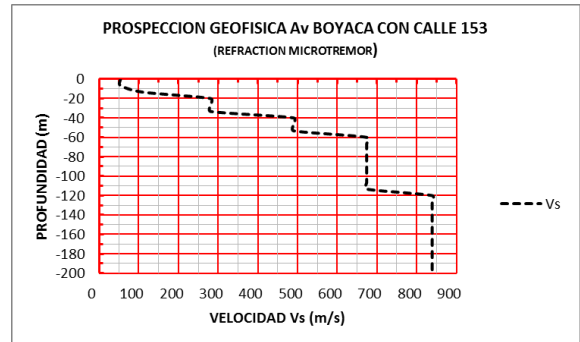
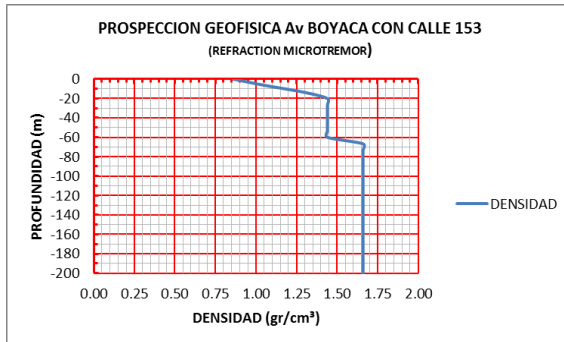


Curva de periodos, calculada para cada una de las estaciones de la RAB, con datos tomados del FOPAE.

Con la curva de tendencia se puede inferir el periodo del suelo a cualquier profundidad en la sabana de Bogotá.

ENSAYO GEOFISICO REMI

- Para un proyecto, (datos de la firma LFO), localizado entre la Av. Boyacá y la carrera 63A y la Av. la sirena (calle 153) y la calle 160, se realizó una Prospección de línea Geofísica, mediante el ensayo geofísico ReMi (Refraction Microtremor), en el anexo 4, numeral 4.2 se amplia el concepto de micro tremor; cuyos resultados editados por el autor son:

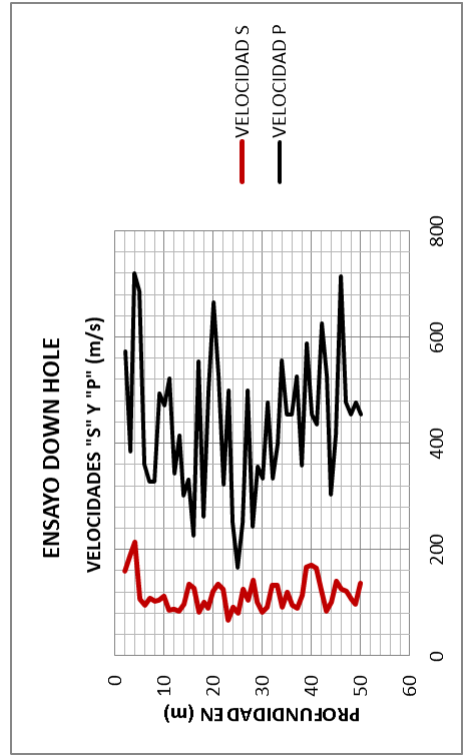
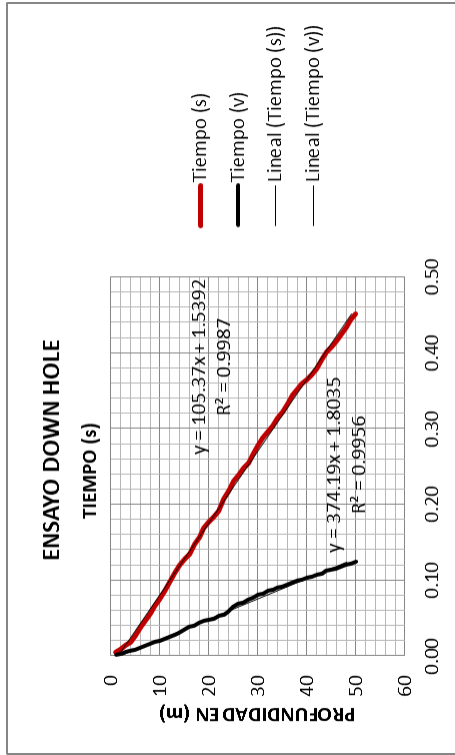
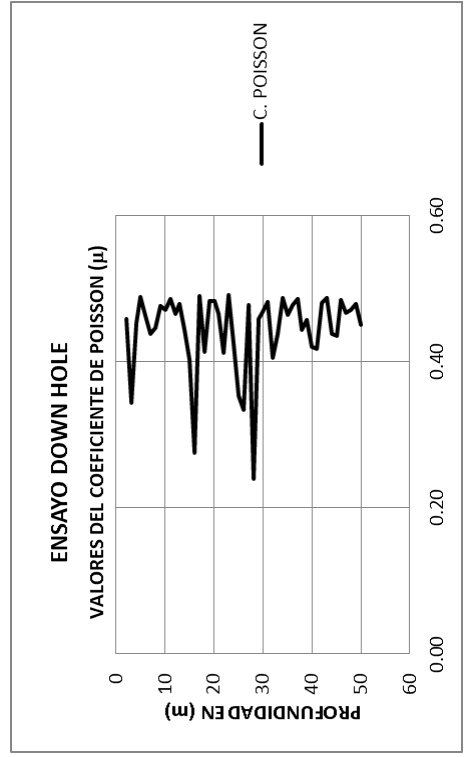
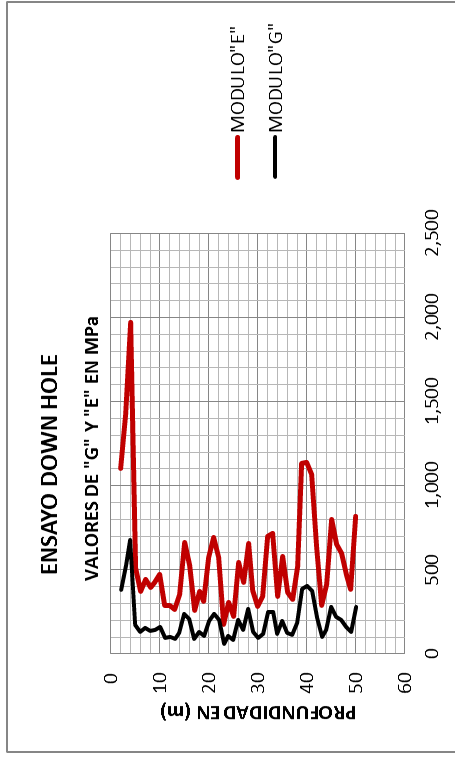


ENSAYO DOWN HOLE

- Para otro proyecto, sobre la Avenida Boyacá con calle 80, se realizaron varios ensayos; a continuación el Down Hole, a una profundidad de 50m, (Datos suministrados por la firma LFO), cuyo resultados editados por el autor, son:

ENSAYO DOWN HOLE										
Profundidad (m)	Tiempo (s)	Tiempo (p)	Distancia (m)	Velocidad ONDAS "P" (m/s)	Velocidad ONDAS "S" (m/s)	μ	γ kN/m ³	G Mpa	E Mpa	K _{BULK} Mpa
1.00	0.0042	0.0010	1.64	1,640.12	390.51	0.47	15.00	2,287.41	6,724.78	37,300.11
2.00	0.0089	0.0023	2.39	573.27	158.56	0.46	15.00	377.14	1,100.17	4,426.72
3.00	0.0136	0.0046	3.27	384.43	188.12	0.34	15.00	530.86	1,425.43	1,508.96
4.00	0.0180	0.0059	4.21	720.30	212.82	0.45	15.00	679.36	1,973.11	6,876.69
5.00	0.0270	0.0073	5.17	685.92	106.70	0.49	15.00	170.77	508.07	6,829.61
6.00	0.0372	0.0100	6.14	360.36	95.39	0.46	14.00	127.39	372.57	1,648.21
7.00	0.0462	0.0130	7.12	326.82	108.94	0.44	13.00	154.29	443.58	1,182.87
8.00	0.0558	0.0160	8.10	328.42	102.63	0.45	13.00	136.93	395.96	1,219.57
9.00	0.0652	0.0180	9.09	494.23	105.16	0.48	13.00	143.75	424.44	2,983.80
10.00	0.0741	0.0201	10.08	471.78	111.32	0.47	13.00	161.10	473.79	2,678.72
11.00	0.0856	0.0220	11.08	522.32	86.30	0.49	13.00	96.81	287.72	3,417.54
12.00	0.0970	0.0249	12.07	342.64	87.16	0.47	13.00	98.77	289.47	1,394.55
13.00	0.1090	0.0273	13.06	414.43	82.89	0.48	13.00	89.31	264.21	2,113.68
14.00	0.1193	0.0306	14.06	301.63	96.64	0.44	13.00	121.41	350.34	1,020.89
15.00	0.1267	0.0336	15.06	332.00	134.59	0.40	13.00	235.50	660.19	1,118.91
16.00	0.1346	0.0380	16.05	226.48	126.14	0.28	13.00	206.84	527.51	391.00
17.00	0.1468	0.0398	17.05	553.84	81.71	0.49	13.00	86.80	258.48	3,871.83
18.00	0.1567	0.0436	18.05	262.43	100.73	0.41	13.00	131.91	372.94	719.45
19.00	0.1678	0.0456	19.04	498.77	89.87	0.48	13.00	104.99	311.45	3,094.03
20.00	0.1760	0.0471	20.04	665.19	121.68	0.48	13.00	192.48	570.78	5,495.55
21.00	0.1834	0.0490	21.04	525.26	134.86	0.46	13.00	236.45	692.66	3,271.41
22.00	0.1914	0.0521	22.04	321.99	124.77	0.41	13.00	202.38	571.40	1,077.98
23.00	0.2064	0.0541	23.04	499.17	66.56	0.49	13.00	57.59	171.71	3,162.40
24.00	0.2174	0.0581	24.04	249.62	90.77	0.42	13.00	107.11	305.01	667.21
25.00	0.2300	0.0641	25.03	166.43	79.25	0.35	13.00	81.65	221.02	251.22
26.00	0.2380	0.0681	26.03	249.68	124.84	0.33	13.00	202.60	540.26	540.26
27.00	0.2475	0.0701	27.03	499.40	105.14	0.48	13.00	143.70	424.43	3,050.60
28.00	0.2545	0.0742	28.03	243.63	142.70	0.24	13.00	264.71	655.91	418.67
29.00	0.2645	0.0770	29.03	356.77	99.90	0.46	13.00	129.73	378.15	1,481.75
30.00	0.2766	0.0800	30.03	333.01	82.56	0.47	14.00	95.44	280.06	1,425.29
31.00	0.2876	0.0821	31.03	475.76	90.83	0.48	14.00	115.49	342.11	3,014.85
32.00	0.2951	0.0851	32.03	333.05	133.22	0.40	14.00	248.47	698.07	1,221.62
33.00	0.3026	0.0876	33.03	399.68	133.23	0.44	14.00	248.49	714.41	1,905.10
34.00	0.3136	0.0894	34.02	555.14	90.84	0.49	14.00	115.53	343.41	4,160.45
35.00	0.3220	0.0916	35.02	454.22	118.96	0.46	14.00	198.13	579.80	2,624.28
36.00	0.3326	0.0938	36.02	454.24	94.28	0.48	14.00	124.43	367.70	2,722.78
37.00	0.3439	0.0957	37.02	525.98	88.44	0.49	14.00	109.50	325.32	3,727.20
38.00	0.3527	0.0985	38.02	356.93	113.57	0.44	14.00	180.57	521.36	1,542.81
39.00	0.3587	0.1002	39.02	587.90	166.57	0.46	14.00	388.45	1,131.43	4,320.84
40.00	0.3646	0.1024	40.02	454.30	169.40	0.42	14.00	401.75	1,140.36	2,353.77
41.00	0.3707	0.1047	41.02	434.56	163.85	0.42	14.00	375.86	1,065.28	2,142.64
42.00	0.3788	0.1063	42.02	624.69	123.40	0.48	14.00	213.17	630.86	5,179.16
43.00	0.3908	0.1082	43.02	526.07	83.29	0.49	14.00	97.13	288.90	3,744.98
44.00	0.4007	0.1115	44.02	302.90	100.97	0.44	14.00	142.72	410.31	1,094.15
45.00	0.4078	0.1139	45.02	416.49	140.79	0.44	14.00	277.49	796.66	2,058.50
46.00	0.4158	0.1153	46.02	713.99	124.95	0.48	14.00	218.57	648.81	6,845.60
47.00	0.4241	0.1174	47.02	476.00	120.43	0.47	14.00	203.06	595.30	2,901.37
48.00	0.4335	0.1196	48.02	454.38	106.34	0.47	14.00	158.32	465.80	2,679.30
49.00	0.4439	0.1217	49.02	476.02	96.12	0.48	14.00	129.34	382.54	2,999.86
50.00	0.4512	0.1239	50.02	454.39	136.94	0.45	15.00	281.28	815.75	2,721.99

DATOS SUMINISTRADOS POR LA FIRMA LFO, COMPLETADOS Y EDITADO POR EL AUTOR



ENSAYO BENDER ELEMENTS

Para este mismo estudio, se realizo la determinación de la velocidad de onda de corte, mediante el ensayo BENDER ELEMENTS:

MUESTRA CLASIFICADA COMO CH, LL=120%; LP=35.6%; IP=84.4% Y Wn=115.2% TOMADA A LA PROFUNDIDAD EN EL INTERVALO DE 10.36m A 10.97m						
Secuencia de ciclos	Tiempo (10^{-5}) (s)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	Módulo de elasticidad (MPa)	D (%)	Esfuerzo de confinamiento (MPa)
1re ciclo	160.00	77.25	133.80	21.08	7.39%	0.061
2do ciclo	167.00	74.01	128.19	19.35	6.27%	0.061
3er ciclo	164.00	75.37	130.54	20.06	6.12%	0.061
4to ciclo	161.00	76.77	132.97	20.82	8.77%	0.061
5to ciclo	173.00	71.45	123.75	18.03	7.14%	0.061
6to ciclo	165.00	74.91	129.75	19.82	9.17%	0.061

DATOS TOMADOS DE LA FIRMA LFO, EDITADOS POR EL AUTOR

MUESTRA CLASIFICADA COMO CH, LL=145.5%; LP=36.3%; IP=109.2% Y Wn=108.3% TOMADA A LA PROFUNDIDAD EN EL INTERVALO DE 20.12m A 20.73m						
Secuencia de ciclos	Tiempo (10^{-5}) (s)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	Módulo de elasticidad (MPa)	D (%)	Esfuerzo de confinamiento (MPa)
1re ciclo	159.00	76.10	131.81	20.53	7.13%	0.117
2do ciclo	157.00	77.07	133.49	21.06	6.49%	0.117
3er ciclo	156.00	77.56	134.34	21.33	6.65%	0.117
4to ciclo	156.00	77.56	134.34	21.33	6.84%	0.117
5to ciclo	157.00	77.07	133.49	21.06	5.90%	0.117
6to ciclo	161.00	75.16	130.17	20.03	4.99%	0.117

DATOS TOMADOS DE LA FIRMA LFO, EDITADOS POR EL AUTOR

MUESTRA CLASIFICADA COMO CH, LL=99.0%; LP=29.1%; IP=69.9% Y Wn=85.8% TOMADA A LA PROFUNDIDAD EN EL INTERVALO DE 29.87m A 30.48m						
Secuencia de ciclos	Tiempo (10^{-5}) (s)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	Módulo de elasticidad (MPa)	D (%)	Esfuerzo de confinamiento (MPa)
1re ciclo	133.00	92.93	160.96	33.09	5.62%	0.179
2do ciclo	130.00	95.08	164.68	34.63	5.16%	0.179
3er ciclo	129.00	95.81	165.95	35.17	5.74%	0.179
4to ciclo	130.00	95.08	164.68	34.63	5.22%	0.179
5to ciclo	131.00	94.35	163.42	34.11	5.11%	0.179
6to ciclo	132.00	93.64	162.18	33.59	5.62%	0.179

DATOS TOMADOS DE LA FIRMA LFO, EDITADOS POR EL AUTOR

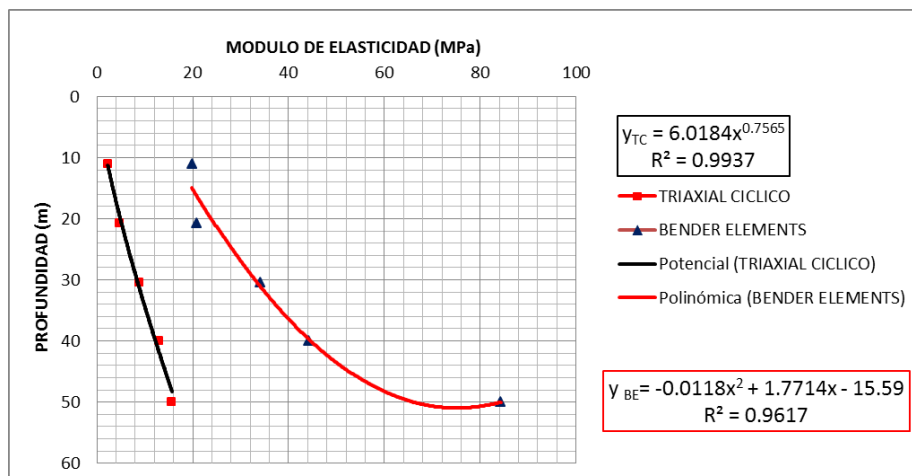
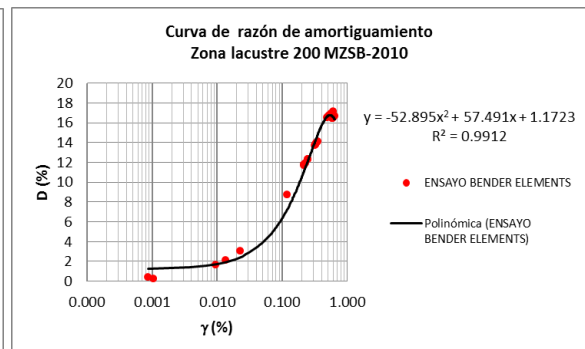
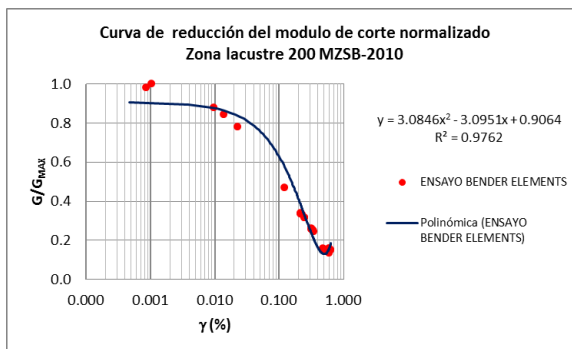
MUESTRA CLASIFICADA COMO CH, LL=183.0%; LP=41.2%; IP=141.8% Y Wn=136.2% TOMADA A LA PROFUNDIDAD EN EL INTERVALO DE 39.32m A 39.93m						
Secuencia de ciclos	Tiempo (10^{-5}) (s)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	Módulo de elasticidad (MPa)	D (%)	Esfuerzo de confinamiento (MPa)
1re ciclo	111.00	110.09	190.68	42.08	5.76%	0.219
2do ciclo	108.00	113.15	195.98	44.45	4.62%	0.219
3er ciclo	107.00	114.21	197.81	45.28	5.45%	0.219
4to ciclo	106.00	115.28	199.68	46.14	5.88%	0.219
5to ciclo	107.00	114.21	197.81	45.28	5.77%	0.219
6to ciclo	111.00	110.09	190.68	42.08	6.03%	0.219

DATOS TOMADOS DE LA FIRMA LFO, EDITADOS POR EL AUTOR

MUESTRA CLASIFICADA COMO CL, LL=35.3%; LP=14.1%; IP=21.2% Y Wn=25.8%						
TOMADA A LA PROFUNDIDAD EN EL INTERVALO DE 49.38m A 49.99m						
Secuencia de ciclos	Tiempo (10 ⁻⁵) (s)	V _s (m/s)	V _p (m/s)	Módulo de elasticidad (MPa)	D (%)	Esfuerzo de confinamiento (MPa)
1re ciclo	85.00	144.47	250.23	105.52	6.51%	0.275
2do ciclo	80.00	153.50	265.87	119.12	6.70%	0.275
3er ciclo	75.00	163.73	283.59	135.54	7.22%	0.275
4to ciclo	76.00	161.58	279.86	131.99	6.62%	0.275
5to ciclo	82.00	149.76	259.39	113.38	7.05%	0.275
6to ciclo	110.00	111.64	193.36	63.01	9.51%	0.275

DATOS TOMADOS DE LA FIRMA LFO, EDITADOS POR EL AUTOR

Estos ensayos aplican para la Zona Lacustre 200 de la MZSB. Las graficas de Los resultados, realizados por el autor son las siguientes, donde se aplicaron Las ecuaciones de ISHIBASHI Y ZHANG (1993) y Zhang et al., 2005:



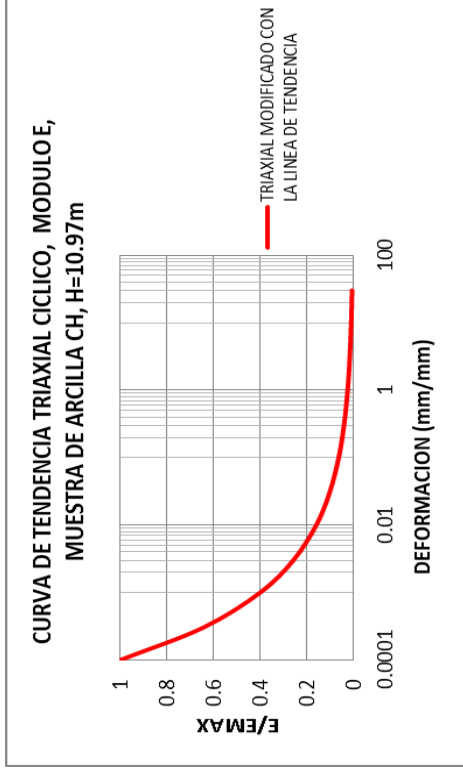
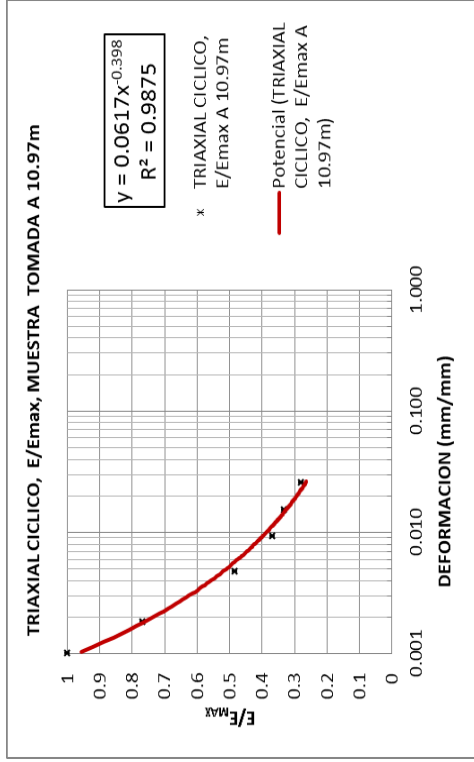
Graficas elaboradas por el autor, Zona Lacustre 200

ENSAYO TRIAXIAL CICLICO

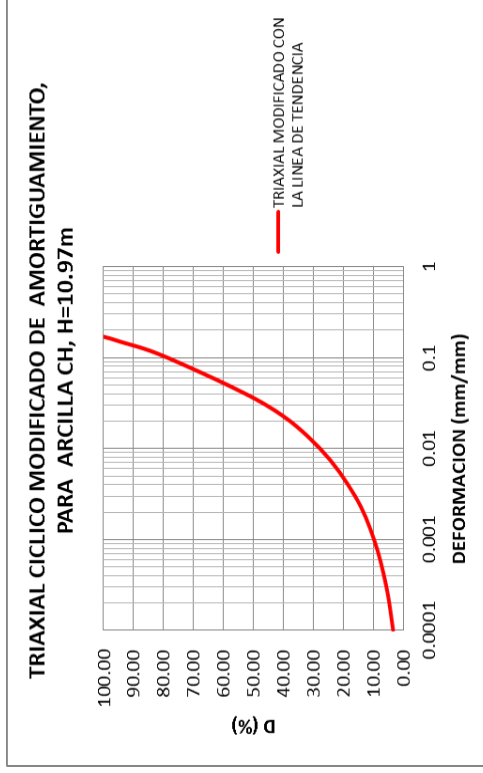
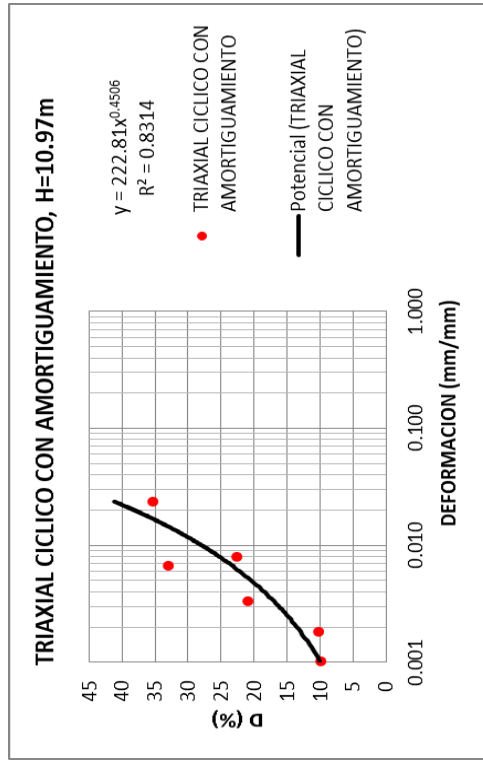
De otra parte, para este mismo sitio, se realizaron ensayos de triaxial cíclico, con esfuerzo controlado, ASTM D 5311, para 5 muestras arrojaron los siguientes resultados:

(Datos tomados de los informes realizados por la firma de LFO, con su consentimiento)

MUESTRA 1, PROFUNDIDAD 10.97m			
ETAPA DE CARGA	DEFORMACION (mm/mm)	RELACION DE AMORTIGUAMIENTO	MODULO DE ELASTICIDAD E (KPa)
1	8.3788E-04	0.186	6,527.81
1	1.0260E-03	0.099	4,249.38
1	9.2890E-04	0.158	4,577.33
2	1.8072E-03	0.192	3,246.39
2	1.8467E-03	0.101	3,263.31
2	1.7835E-03	0.284	1,761.07
3	4.7962E-03	0.252	2,059.97
3	3.8754E-03	0.319	1,503.77
3	3.3500E-03	0.208	2,100.34
3	3.2489E-03	0.252	2,845.37
3	3.0486E-03	0.258	2,101.51
3	3.0213E-03	0.345	2,296.73
4	9.4539E-03	0.243	1,562.59
4	7.9723E-03	0.226	1,868.86
4	7.2912E-03	0.235	1,517.36
4	7.1218E-03	0.177	1,625.98
4	6.9468E-03	0.285	1,698.86
4	7.1420E-03	0.192	1,197.08
4	7.0095E-03	0.257	1,236.37
4	6.9493E-03	0.194	2,176.02
4	6.8325E-03	0.266	1,572.74
4	6.7036E-03	0.329	1,177.00
5	1.5490E-02	0.168	1,415.53
5	1.4645E-02	0.217	1,247.80
5	1.4626E-02	0.160	1,138.58
5	1.4577E-02	0.186	1,379.59
5	1.4450E-02	0.177	1,079.77
5	1.4368E-02	0.200	1,312.86
5	1.4355E-02	0.162	1,295.28
5	1.4431E-02	0.118	1,284.69
5	1.4449E-02	0.183	1,429.49
5	1.4408E-02	0.178	1,060.52
6	2.6242E-02	0.262	1,185.81
6	2.4787E-02	0.288	914.97
6	2.4222E-02	0.304	999.57
6	2.3889E-02	0.247	1,049.78
6	2.3669E-02	0.352	730.19
6	2.3480E-02	0.283	913.40
6	2.3379E-02	0.289	806.83
6	2.3317E-02	0.283	1,074.96
6	2.3111E-02	0.240	918.13
6	2.3124E-02	0.303	859.96



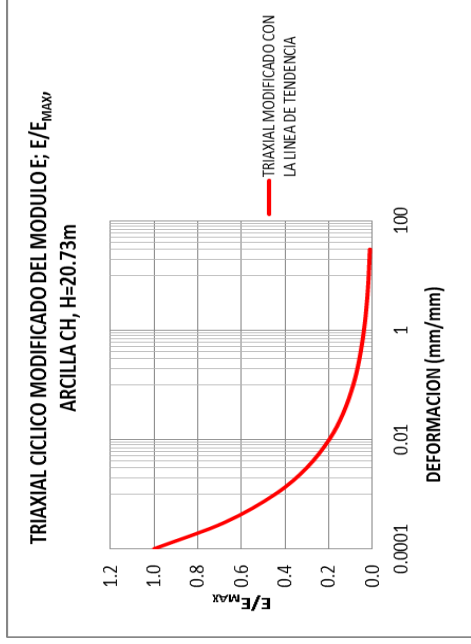
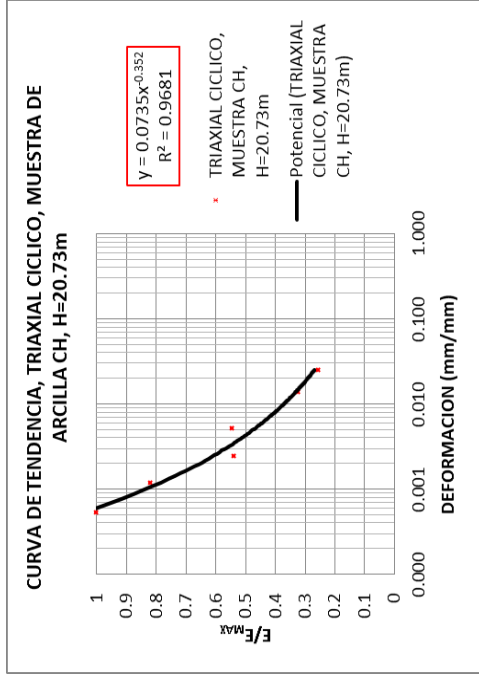
Curvas elaboradas por el autor



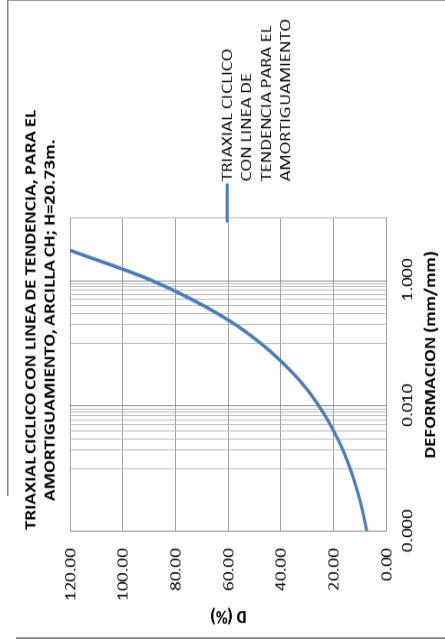
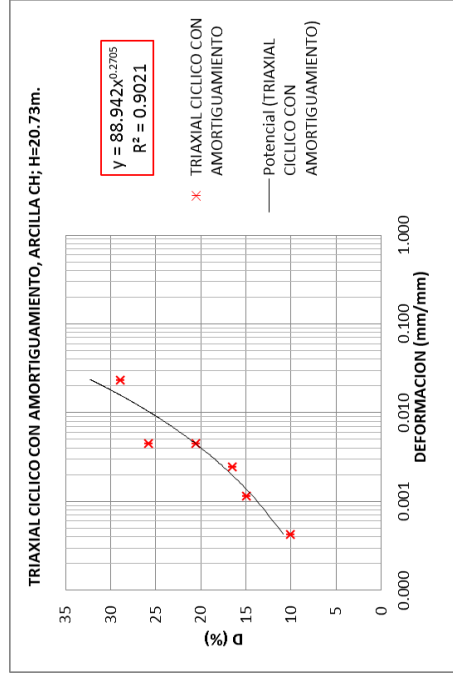
Curvas elaboradas por el autor

El rango de deformaciones, experimentado por el suelo en sismos esta entre 0.01% a 0.30% según Rodríguez et al., (2007).

MUESTRA 2, PROFUNDIDAD H=20.73m			
ETAPA DE CARGA	DEFORMACION (mm/mm)	RELACION DE AMORTIGUAMIENTO	MODULO DE ELASTICIDAD E (KPa)
1	5.44421E-04	0.283	8,098.05
1	4.81921E-04	0.108	10,196.97
1	4.59711E-04	0.077	11,626.10
1	4.57645E-04	0.178	8,376.62
1	4.26136E-04	0.100	8,389.36
1	4.60227E-04	0.232	13,092.51
2	1.15341E-03	0.149	6,165.50
2	1.18233E-03	0.142	4,877.56
2	1.14411E-03	0.126	7,329.98
2	1.13533E-03	0.065	9,408.07
2	1.14824E-03	0.106	5,677.14
2	1.17562E-03	0.177	8,122.40
2	1.16942E-03	0.038	9,530.90
2	1.17045E-03	0.062	9,271.30
2	1.18905E-03	0.008	6,637.18
3	2.48709E-03	0.165	5,357.96
3	2.42614E-03	0.135	6,152.35
3	2.42097E-03	0.257	3,892.80
3	2.45861E-03	0.118	4,728.94
3	2.42820E-03	0.206	3,919.90
3	2.44992E-03	0.098	5,022.96
3	2.48140E-03	0.125	4,760.15
3	2.50352E-03	0.158	4,371.64
3	2.49638E-03	0.176	3,655.08
4	5.28977E-03	0.144	4,410.62
4	4.61519E-03	0.262	3,394.73
4	4.51395E-03	0.151	3,627.96
4	4.51756E-03	0.185	3,013.79
4	4.51756E-03	0.145	3,413.53
4	4.49122E-03	0.095	2,686.97
4	4.48760E-03	0.205	3,188.43
4	4.40134E-03	0.120	3,779.32
4	4.43543E-03	0.246	3,163.03
4	4.55837E-03	0.258	3,459.70
5	1.41622E-02	0.145	2,620.50
5	1.32955E-02	0.128	2,644.84
5	1.31333E-02	0.187	2,192.57
5	1.31069E-02	0.122	2,052.31
5	1.31854E-02	0.132	2,419.96
5	1.31550E-02	0.145	2,633.43
5	1.31596E-02	0.142	2,326.68
5	1.31916E-02	0.138	2,589.49
5	1.31131E-02	0.157	2,195.02
5	1.31229E-02	0.153	2,542.50
6	2.50971E-02	0.197	2,072.06
6	2.40733E-02	0.280	1,564.98
6	2.37898E-02	0.227	1,572.28
6	2.37082E-02	0.207	1,749.12
6	2.35909E-02	0.240	1,773.51
6	2.36028E-02	0.289	1,570.61
6	2.35961E-02	0.209	1,489.46
6	2.35217E-02	0.274	1,501.93
6	2.35961E-02	0.242	1,630.79
6	2.36317E-02	0.219	1,619.06



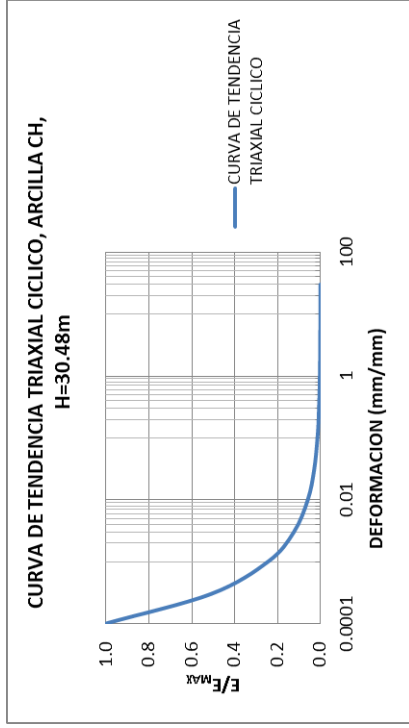
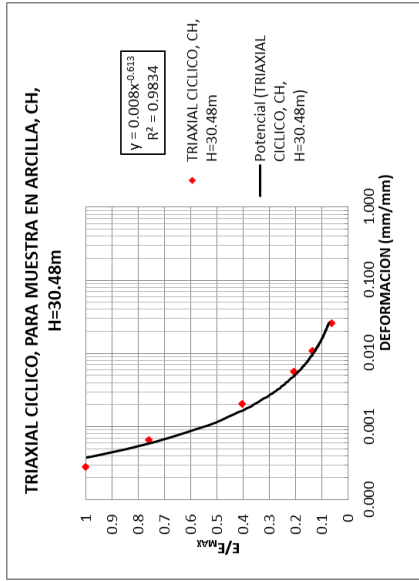
Curvas elaboradas por el autor



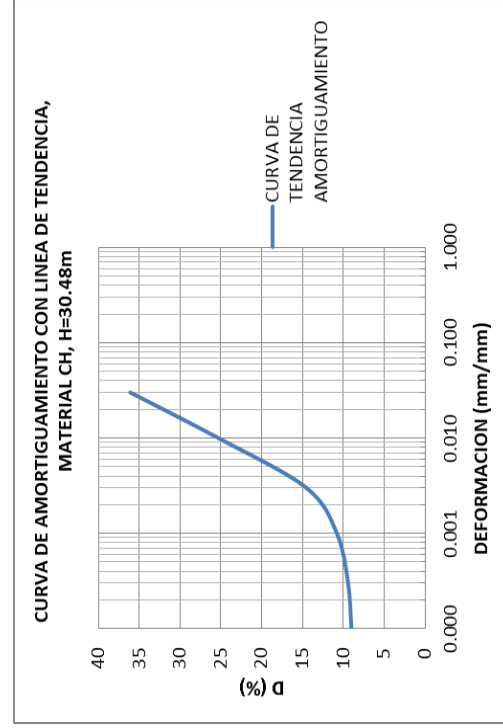
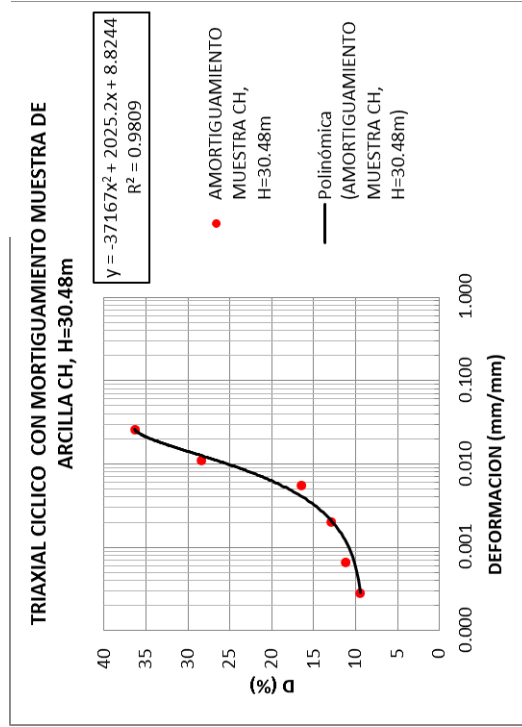
Curvas elaboradas por el autor

Las curvas de variación del modulo de corte, de acuerdo a lo observado por Rodríguez et Al., (2007), con la deformación «son iguales a las del modulo E, considerando que la relación de Poisson o la relación entre el modulo de corte y el de compresibilidad volumétrica son constantes para la muestra durante la prueba»

MUESTRA 3, PROFUNDIDAD H=30.48m			
ETAPA DE	DEFORMACION	RELACION DE	MODULO DE
CARGA	(m m/m m)	AMORTIGUAMIENTO	E (KPa)
1	3.145230E-04	0.123	23,909.25
1	3.150280E-04	0.123	20,684.60
1	2.776090E-04	0.128	3,328.80
1	3.059260E-04	0.070	16,591.54
1	3.039040E-04	0.200	11,477.51
1	2.811490E-04	0.094	7,182.34
1	2.852060E-04	0.113	24,627.74
2	6.487560E-04	0.121	14,415.81
2	6.472550E-04	0.114	13,023.11
2	6.750510E-04	0.131	11,989.19
2	6.730380E-04	0.112	13,759.35
2	6.775690E-04	0.068	13,911.84
2	7.059170E-04	0.118	13,580.66
2	6.846680E-04	0.187	10,995.66
2	6.684870E-04	0.112	18,730.24
2	7.099510E-04	0.041	15,165.15
3	1.905850E-03	0.093	11,255.41
3	1.958040E-03	0.189	8,211.68
3	1.913940E-03	0.146	8,764.31
3	2.079790E-03	0.161	9,156.93
3	2.045410E-03	0.105	9,941.26
3	2.048950E-03	0.122	9,139.45
3	2.045410E-03	0.129	9,066.74
3	2.076250E-03	0.119	8,282.70
3	2.096990E-03	0.129	7,992.51
3	2.102040E-03	0.177	7,892.75
4	5.703683E-03	0.089	4,914.37
4	5.575445E-03	0.105	4,896.00
4	5.531452E-03	0.094	5,259.75
4	5.544094E-03	0.113	4,742.22
4	5.693265E-03	0.122	4,860.58
4	5.686230E-03	0.164	4,229.38
4	5.623664E-03	0.116	4,106.28
4	5.643710E-03	0.146	3,943.42
4	5.629345E-03	0.112	5,069.93
4	5.635619E-03	0.164	4,323.55
5	1.126264E-02	0.238	3,259.93
5	1.104116E-02	0.223	3,489.48
5	1.101082E-02	0.193	3,662.44
5	1.095924E-02	0.229	3,122.56
5	1.097593E-02	0.228	2,915.43
5	1.095823E-02	0.234	3,356.68
5	1.096329E-02	0.178	3,029.86
5	1.097441E-02	0.235	2,931.06
5	1.099009E-02	0.283	2,936.97
5	1.102550E-02	0.224	2,853.59
6	2.608920E-02	0.319	1,581.37
6	2.595823E-02	0.339	1,516.81
6	2.603155E-02	0.348	1,292.19
6	2.614229E-02	0.313	1,493.59
6	2.622875E-02	0.268	1,537.90
6	2.618578E-02	0.298	1,458.33
6	2.628186E-02	0.362	1,318.71
6	2.632888E-02	0.279	1,457.12
6	2.638299E-02	0.333	1,396.86
6	2.645581E-02	0.319	1,283.00



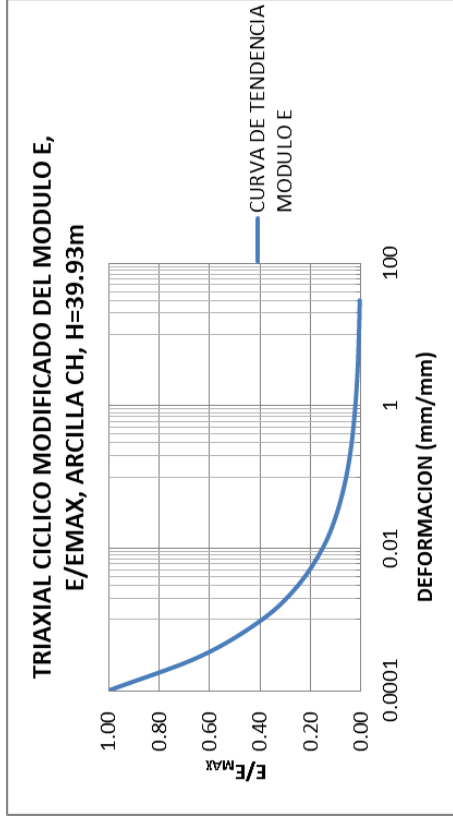
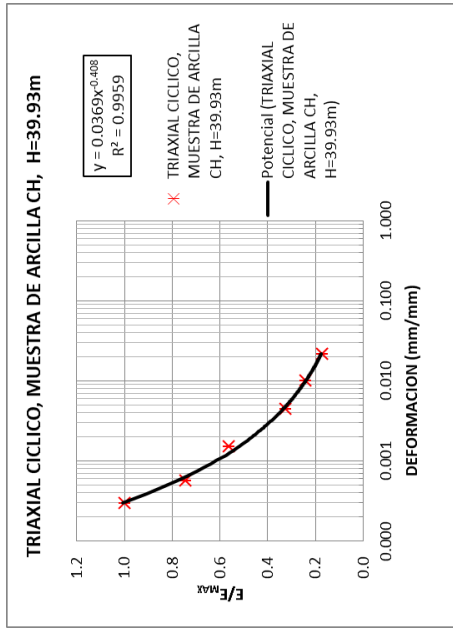
Curvas elaboradas por el autor



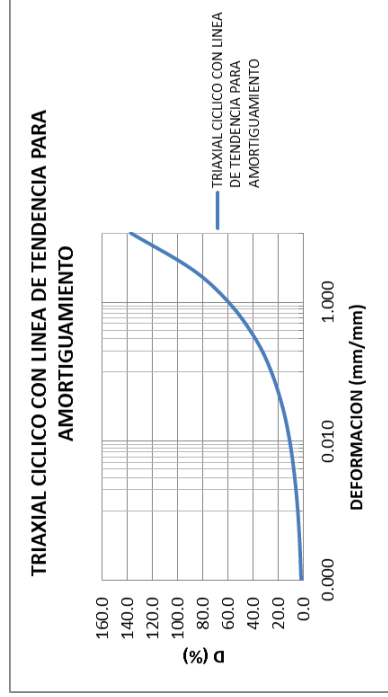
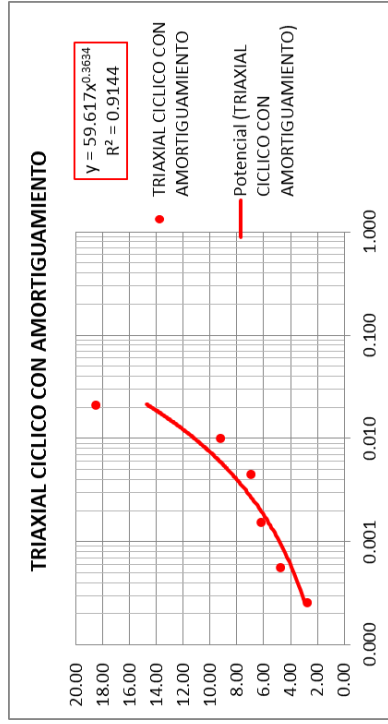
Curvas elaboradas por el autor

El ensayo triaxial cíclico, de esfuerzo controlado, permiten una mejor definición del comportamiento del suelo y también un mejor control de la muestra y del ensayo en si mismo.

MUESTRA 4, PROFUNDIDAD H=39.93m			
ETAPA DE	DEFORMACION	RELACION DE	MODULO DE
CARGA	(mm/mm)	AMORTIGUAMIENTO	E (KPa)
1	3.00271E-04	0.073	27,961.53
1	2.47034E-04	0.018	32,273.61
1	2.62377E-04	0.060	25,285.79
1	2.56240E-04	0.110	21,739.77
1	2.59820E-04	0.027	14,756.55
1	2.52660E-04	0.063	18,854.73
1	2.67950E-04	0.148	13,958.81
1	2.75164E-04	0.055	28,876.77
1	2.47034E-04	0.005	34,694.68
2	5.15037E-04	0.019	19,143.44
2	5.74877E-04	0.099	19,235.59
2	5.51350E-04	0.069	20,650.74
2	5.65160E-04	0.126	14,786.82
2	5.63625E-04	0.014	17,641.13
2	5.99427E-04	0.119	18,913.23
2	5.69763E-04	0.047	20,788.76
2	5.68228E-04	0.096	17,317.15
2	6.00450E-04	0.125	13,333.26
3	1.49806E-03	0.107	16,556.21
3	1.46737E-03	0.049	15,564.35
3	1.48476E-03	0.047	16,956.90
3	1.52823E-03	0.034	16,261.71
3	1.52926E-03	0.043	17,284.03
3	1.51289E-03	0.032	14,607.65
3	1.53795E-03	0.062	15,686.22
3	1.52721E-03	0.080	15,365.25
3	1.52158E-03	0.078	13,575.40
3	1.50675E-03	0.033	16,179.03
4	4.35812E-03	0.058	9,611.04
4	4.41745E-03	0.056	9,840.55
4	4.49315E-03	0.063	8,920.01
4	4.49724E-03	0.097	9,145.90
4	4.47527E-03	0.051	9,340.38
4	4.46144E-03	0.067	8,862.01
4	4.43280E-03	0.006	9,296.70
4	4.53406E-03	0.048	8,560.05
4	4.55657E-03	0.069	9,036.80
4	4.53253E-03	0.060	9,536.62
5	9.55730E-03	0.081	7,594.26
5	9.97698E-03	0.081	7,023.99
5	9.98363E-03	0.082	7,111.94
5	1.00997E-02	0.075	6,888.28
5	1.01693E-02	0.069	6,988.29
5	1.02179E-02	0.079	6,654.99
5	1.01688E-02	0.092	6,695.24
5	1.02547E-02	0.064	6,813.65
5	1.03273E-02	0.074	6,728.80
5	1.02429E-02	0.046	6,778.28
6	2.18822E-02	0.184	4,823.30
6	2.13431E-02	0.185	4,424.61
6	2.13354E-02	0.199	4,229.65
6	2.13446E-02	0.187	3,987.12
6	2.15257E-02	0.211	3,793.19
6	2.15891E-02	0.207	3,788.27
6	2.16239E-02	0.199	3,718.81
6	2.16372E-02	0.221	3,588.74
6	2.16873E-02	0.231	3,483.53
6	2.16617E-02	0.218	3,503.41



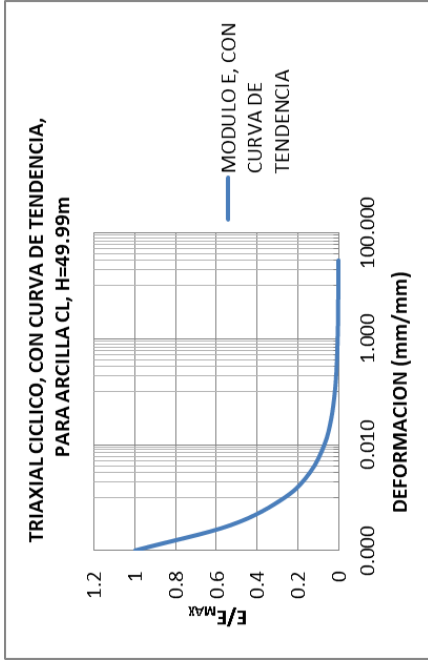
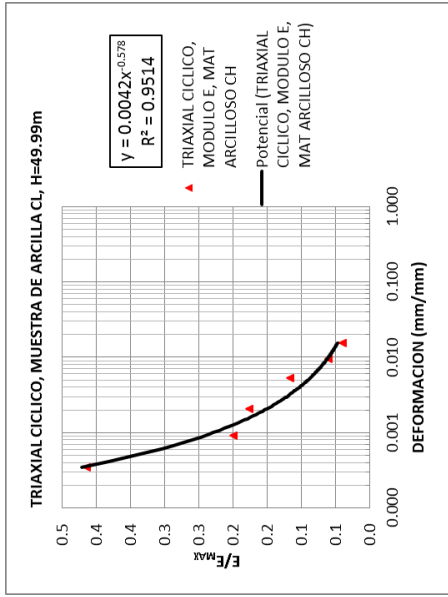
Curvas elaboradas por el autor



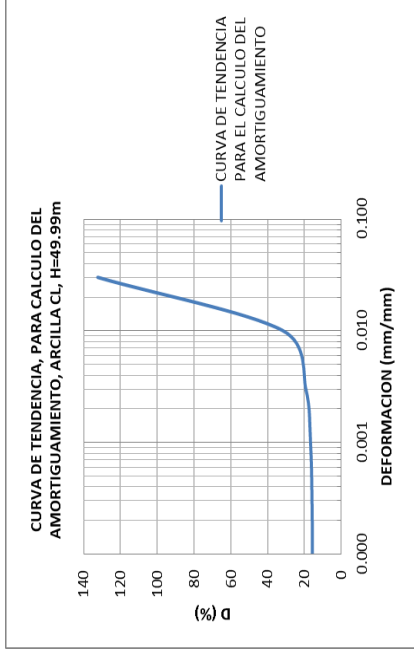
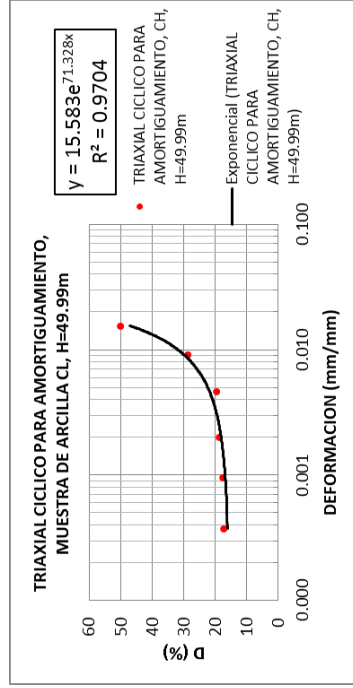
Curvas elaboradas por el autor

Las condiciones reales en el terreno, tienen una condición K_0 , mientras que las condiciones de ensayo son de consolidación isotrópica, también existen condiciones en la tasa de carga y el número de ciclos que pueden presentar incertidumbre. La misma muestra puede afectarse debido a la manipulación y a los cambios de esfuerzos y deformaciones, inducidas durante el muestreo. Rodríguez et al., (2007)

MUESTRA 5, PROFUNDIDAD H=49.99m			
ETAPA DE CARGA	DEFORMACION (mm/mm)	RELACION DE AMORTIGUAMIENTO	MODULO DE ELASTICIDAD E (KPa)
1	5.03868E-04	0.276	15,652.31
1	3.85281E-04	0.372	15,459.92
1	3.46127E-04	0.275	20,330.05
1	3.74084E-04	0.170	16,906.93
1	3.52199E-04	0.176	12,591.72
2	1.09019E-03	0.357	6,907.37
2	1.05761E-03	0.348	3,677.28
2	9.61421E-04	0.172	5,416.86
2	9.23758E-04	0.344	9,761.04
2	9.34955E-04	0.294	8,478.20
3	1.92644E-03	0.219	9,631.05
3	1.94829E-03	0.167	10,435.71
3	1.95185E-03	0.265	8,265.87
3	2.00936E-03	0.184	8,001.28
3	2.00071E-03	0.205	6,878.83
3	2.02921E-03	0.172	7,560.21
3	1.99155E-03	0.318	6,283.56
3	2.06331E-03	0.221	6,281.21
3	2.07502E-03	0.245	7,032.89
3	2.06739E-03	0.149	8,638.50
4	3.83754E-03	0.181	9,627.84
4	4.42335E-03	0.183	7,396.43
4	4.67579E-03	0.192	6,493.89
4	4.93078E-03	0.183	6,011.82
4	5.02341E-03	0.171	5,529.89
4	5.23005E-03	0.128	5,448.03
4	5.29672E-03	0.102	5,681.11
4	5.35118E-03	0.127	4,806.35
4	5.49013E-03	0.062	4,636.18
4	5.52066E-03	0.125	4,579.99
5	9.28542E-03	0.178	5,877.60
5	9.68154E-03	0.205	4,397.80
5	9.70175E-03	0.162	3,857.08
5	9.66562E-03	0.203	3,034.38
5	9.59080E-03	0.207	3,204.53
5	9.53125E-03	0.276	2,325.67
5	9.49511E-03	0.210	2,950.84
5	9.35312E-03	0.220	2,751.27
5	9.46254E-03	0.268	2,030.03
5	9.20603E-03	0.286	1,499.77
6	1.58418E-02	0.292	4,839.76
6	1.62195E-02	0.351	3,456.47
6	1.59718E-02	0.451	2,380.55
6	1.57660E-02	0.475	2,263.20
6	1.56377E-02	0.458	1,837.02
6	1.54637E-02	0.499	1,895.45
6	1.52057E-02	0.524	1,774.53
6	1.50906E-02	0.544	1,598.28
6	1.50529E-02	0.527	1,494.45



Curvas elaboradas por el autor



Curvas elaboradas por el autor

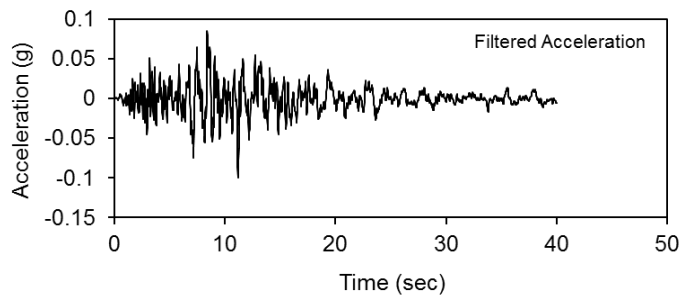
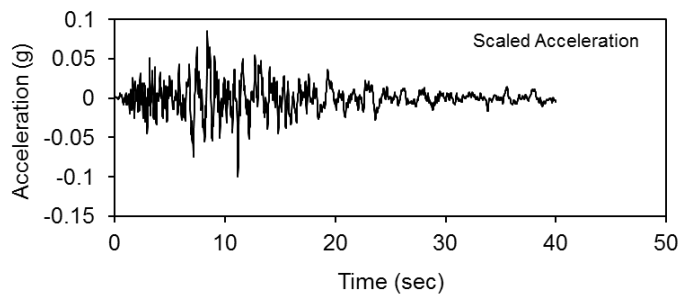
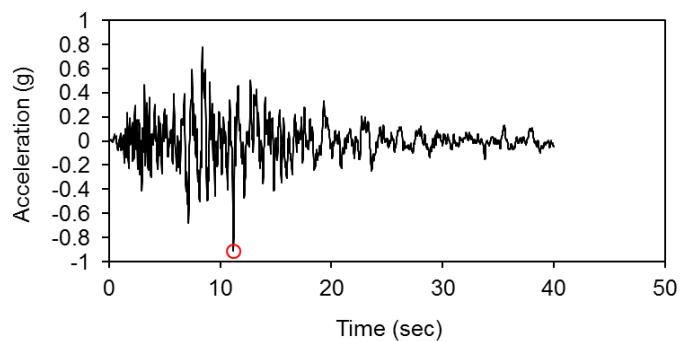
Los ensayos de triaxial cíclico se realizaron sobre muestras obtenidas con tubo Shelby, a las profundidades anotadas; utilizando un equipo GDS del laboratorio de suelos de la Universidad Javeriana, para la firma LFO, del que se obtuvo autorización para presentarlas con fines netamente académicos.

APLICACIÓN DEL PROGRAMA EERA (EQUIVALENT LINEAR EARTHQUAKE SITE RESPONSE ANALYSIS J.P. BARDET, 2000)

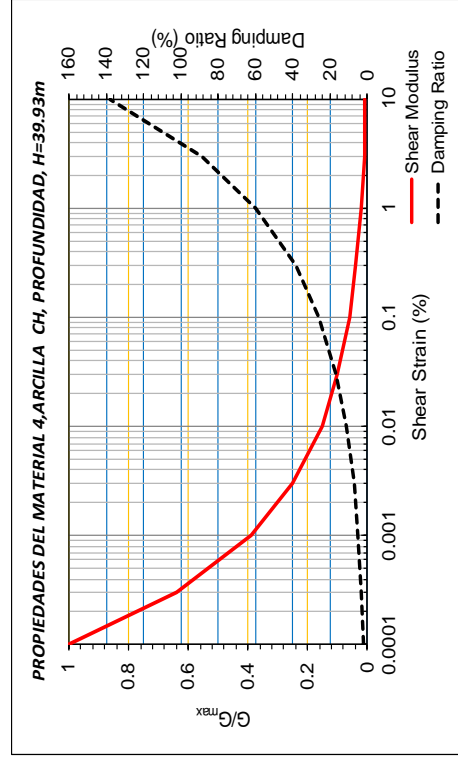
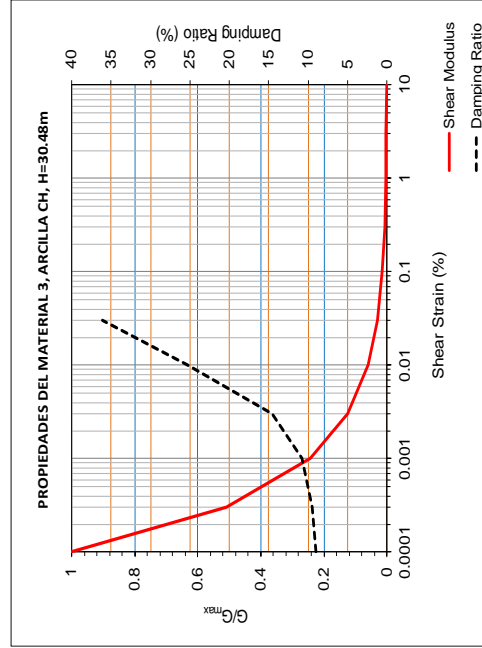
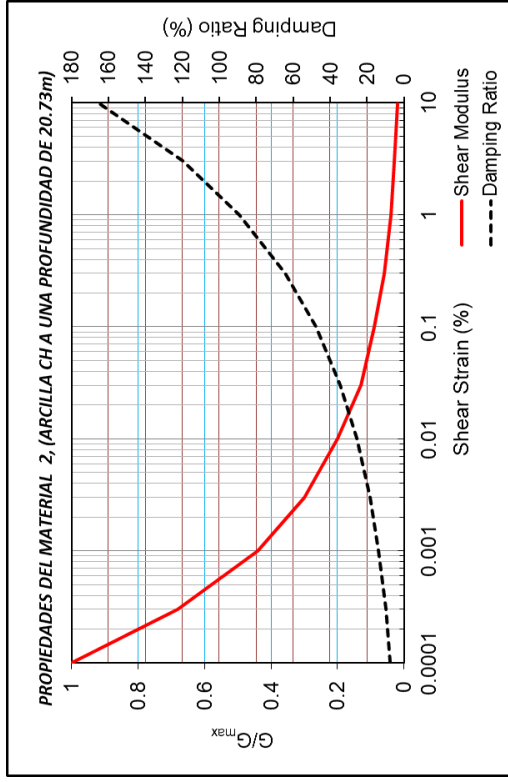
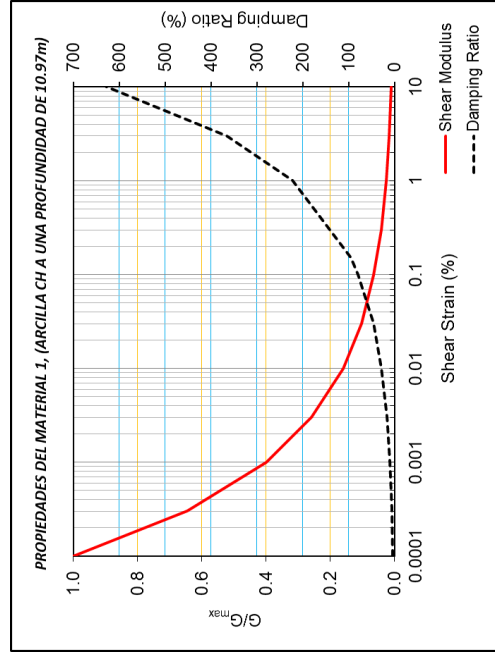
A efecto de aplicar las curvas, vistas anteriormente, al caso del sismo de Quetame de 2008, se realizo una interpolación con los suelos encontrados en la exploración de la estación CBOG1, localizada en el INGEOMINAS y que pertenece a la zona Lacustre 200.

El procedimiento seguido fue el siguiente:

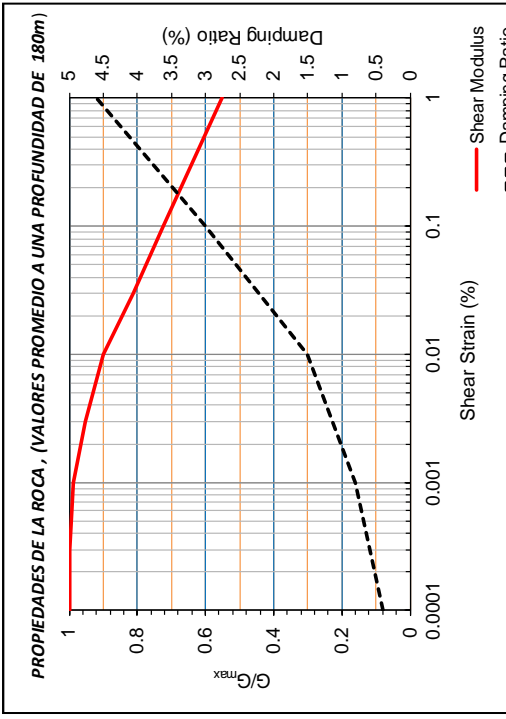
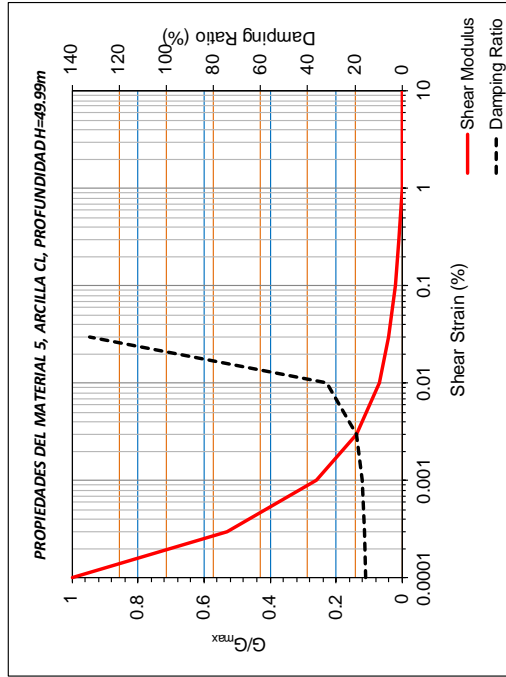
- Aplicación del acelerograma, sentido EO, del sismo de Quetame 2008, para la estación CBOG1, del INGEOMINAS. (Editado para no tener en cuenta los primeros 10 segundos).
- Obtención de 5 curvas que representen los suelos encontrados en la exploración.
- Elaboración de la curva que represente la roca.
- Presentación de resultados.



Las curvas para los 5 materiales son:



Curvas elaboradas por el autor, con base en los Ensayos del triaxial cíclico y el bender elements



Curvas elaboradas por el autor

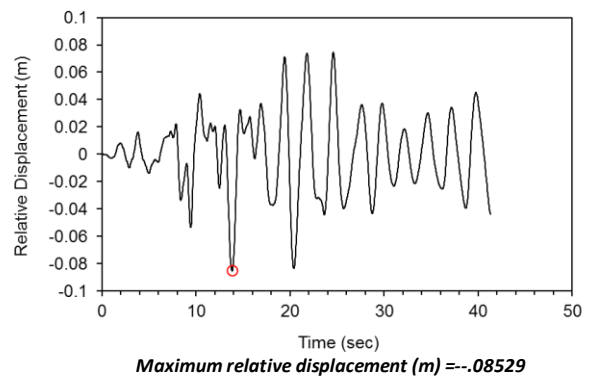
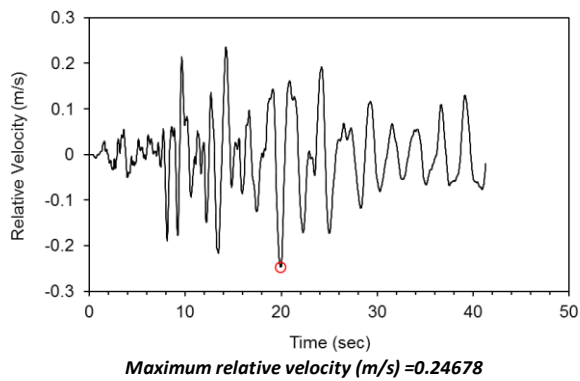
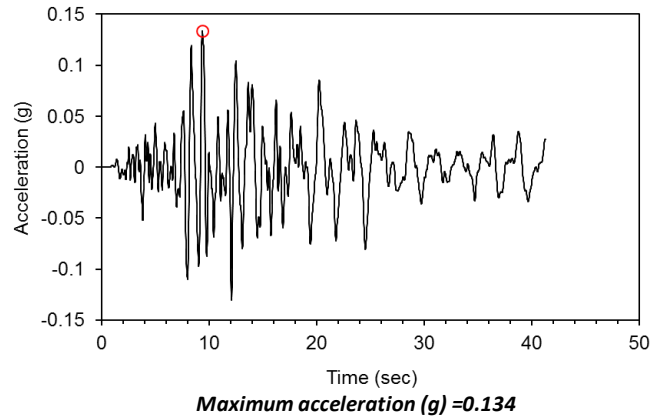
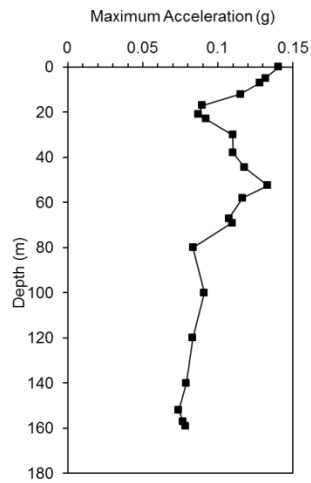
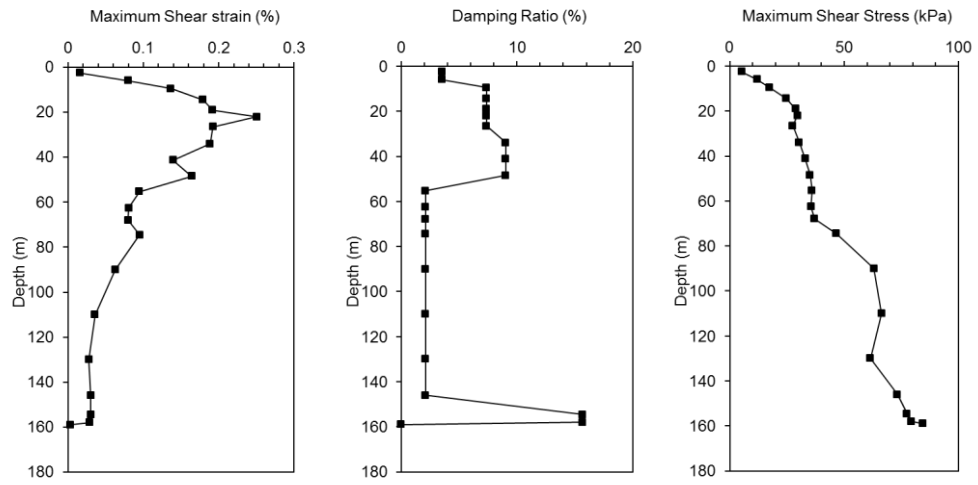
PERFIL GEOTECNICO ESTACION INGEOMINAS CBOG1											
No Capa	Material	DESCRIPCION GEOTECNICA	Tramo desde (m)	Tramo hasta (m)	Esp Estrato (m)	wn (%)	eo	IP	Peso unitario gr/cm ³	Vref m/s	Vs modelado m/s
1	CH-MH	Arcilla ligeramente limosa, gris	0.00	5.00	5.00	43	1.10	45	1.80	170	137
2	CH	Arcilla, gris rosado palido.	5.00	7.00	2.00	79	1.90	92	1.65	170	157
3	CH	Arcilla, gris marrón.	7.00	12.00	5.00	127	2.91	151	1.40	170	161
4	CH	Arcilla, gris oliva.	12.00	17.00	5.00	119	2.88	149	1.38	170	166
5	CH	Arcilla, marrón.	17.00	21.00	4.00	116	2.78	143	1.43	170	169
6	PT	Turba.	21.00	23.00	2.00	300	5.50	270	1.00	150	151
7	CH	Arcilla, marrón amarillento oscuro.	23.00	30.00	7.00	87	2.70	122	1.45	170	174
8	CL	Arcilla arcillosa fina-media, marrón amarillo.	30.00	38.00	8.00	28	0.96	17	1.95	285	305
9	CH	Arcilla limosa, marrón amarillento oscuro.	38.00	44.50	6.50	52	1.32	46	1.75	175	196
10	CH	Arcilla, gris oliva, turba arcillosa negra.	44.50	52.50	8.00	81	2.10	104	1.55	175	201
11	PT	Turba.	52.50	58.00	5.50	120	2.95	155	1.34	150	175
12	CH	Arcilla arenosa gris oliva.	58.00	67.00	9.00	37	1.00	38	1.90	175	208
13	PT	Turba.	67.00	69.00	2.00	120	2.95	155	1.30	150	182
14	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	69.00	80.00	11.00	26	1.05	23	1.95	285	352
15	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	80.00	100.00	20.00	25	1.05	22	1.95	285	368
16	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	100.00	120.00	20.00	20	0.95	14	1.95	285	384
17	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	120.00	140.00	20.00	27	1.05	24	1.95	285	398
18	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	140.00	152.00	12.00	27	1.05	0	1.95	285	408
19	CH	Arcilla gris y marrón.	152.00	157.00	5.00	29	0.90	27	1.80	175	253
20	PT	Turba.	157.00	159.00	2.00	120	2.00	155	1.30	150	218
21	CL	Intercalaciones de arena y arcilla.	159.00	180.00	21.00	40	1.15	42	1.95	285	419

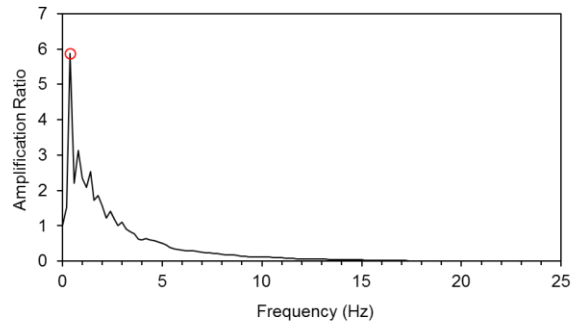
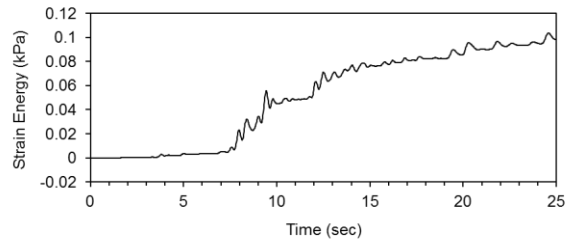
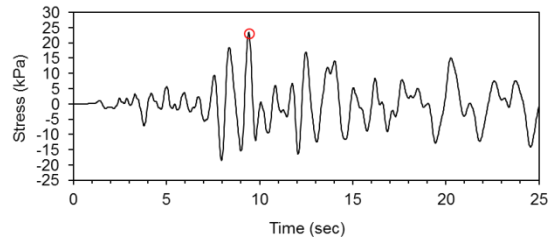
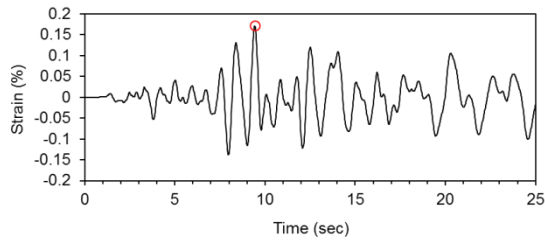
Tomado del estudio del DPAA: "Procesamiento e interpretación de Señales de la RAB"

INTERFASE	SECTORES	V _p (m/s)	V _s (m/s)
Roca (Arcillolita)	Sector Norte		
Roca (Arcillolita)	Suba-Compartir	2,280/2,500	
Roca (Arcillolita)	Bosque Calderon	1,800	378
Arenas y gravas muy densas	Sector Sur	2,091	655
Roca-Arenisca	Parque Distrital del Sur	3,301	
Material arcilloso, arcillas húmedas	Sector norte y centro	1,000/1,400	120/280
Sedimentos arcillosos con contenido organico, poco compacto.	Sector Norte	130/450	70/120
Sedimentos arenosos poco compactos	Sector Sur	470/660	167/348

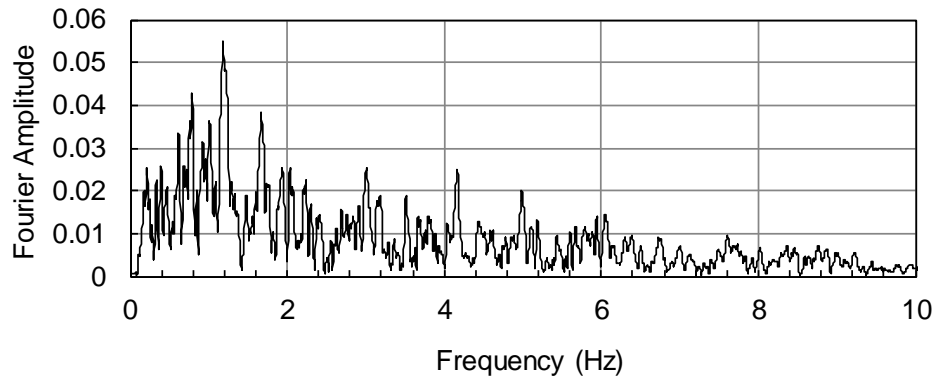
Fuente: INGEOMINAS, UPES, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

Resultados del programa EERA:

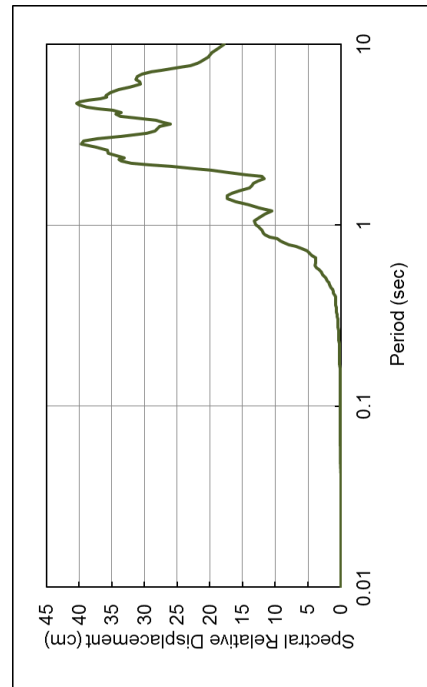
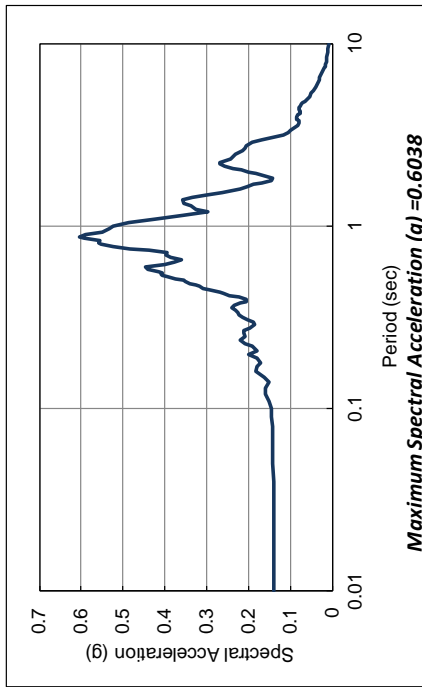
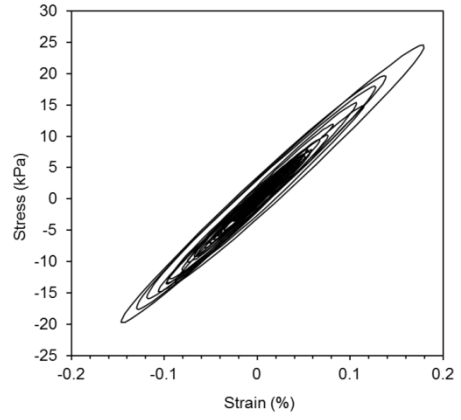
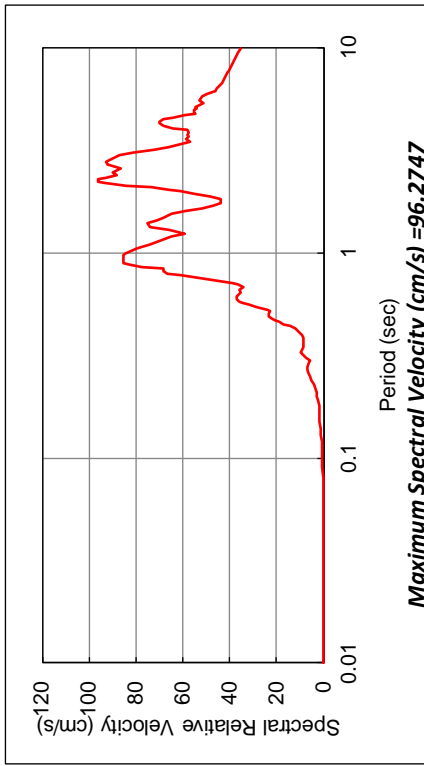




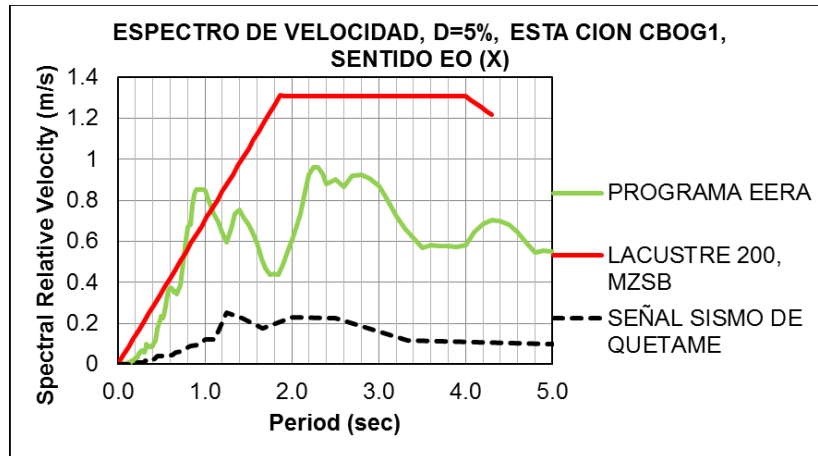
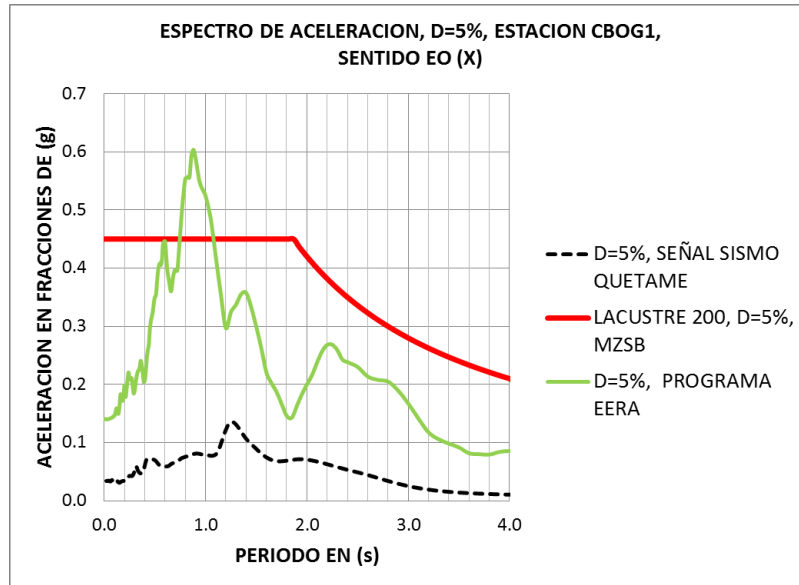
Maximum amplification = 5.872
Frequency of maximum amplification (Hz) = 0.40

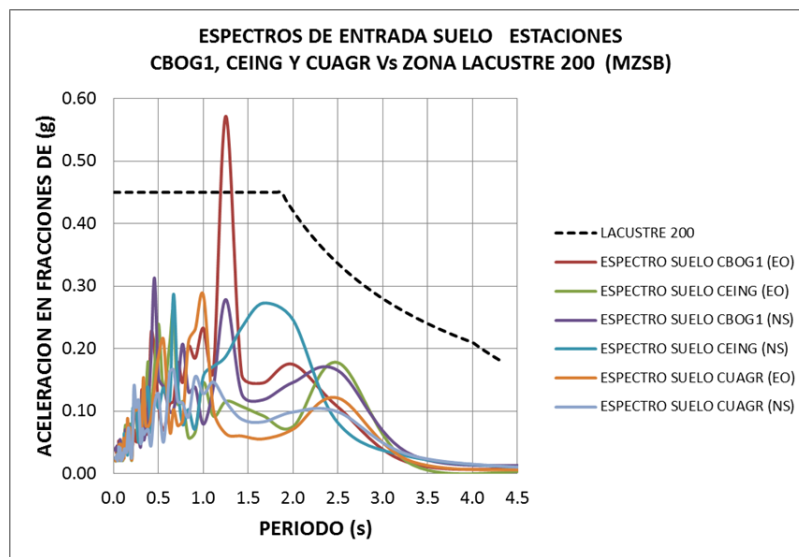
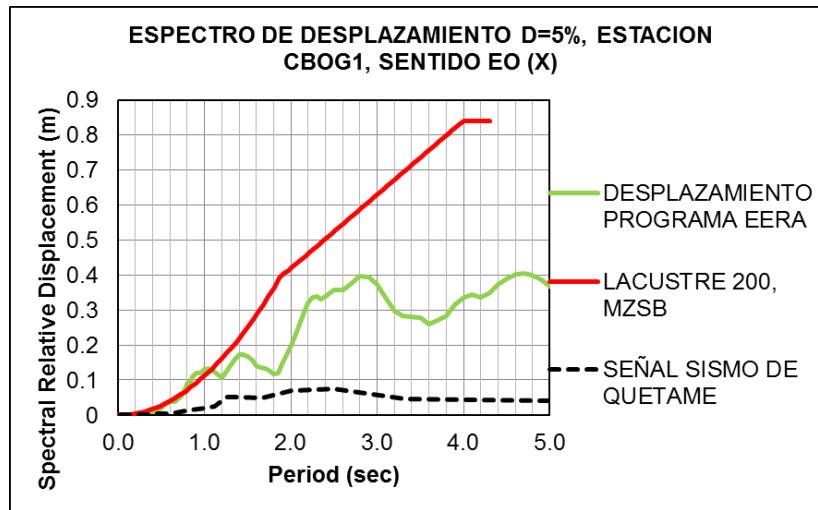


Fundamental frequency (Hz) = 1.18103027



Los espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento calculados, con base al sismo de Quetame de 2008, por el programa EERA y por la MZSB-2010, para la superficie de la estación CBOG1, perteneciente a la zona Lacustre 200, son:





ESPECTROS DE ACELERACION CON AMORTIGUAMIENTO 0%

- Los espectros, calculados con la señal del sismo de Quetame de 2008 no se corresponden con las halladas con el programa EERA, teniendo en cuenta los ensayos mencionados y las curvas de degradación del modulo cortante G.

Conclusiones:

- ✓ El espectro valido para esta investigación, es obviamente el de la superficie, registrado por el acelerómetro de la estación CBO1, localizado en el INGEOMINAS.
- ✓ Si se parte de la roca y se modelan los estratos hasta la superficie, de conformidad con los ensayos al suelo existente, era de esperarse que coincidieran o fueran muy parecidos, cosa que no ocurrió.
- ✓ Los valores del modulo elástico y de cortante para cada uno de los ensayos difieren entre si, la fluctuación es muy importante.
- ✓ No se disponen de datos experimentales, sobre el comportamiento de la roca y los módulos de degradación de cortante y amortiguamiento. La solución que propone la NSR-10 de convertir la velocidad horizontal en roca (en caso de disponer de esta información), en aceleraciones horizontales, dividiéndolas por 0.75m/s, en unidades de fracción de «g», artículo A.2.9.3.4 literal (b), parece ser no suficiente.
- ✓ La extracción de la muestra y la manipulación en el laboratorio, para las labores de muestreo son especialmente críticas, (Se requieren protocolos de manipulación).
- ✓ Se debe tener un banco de datos para cada uno de los ensayos, en cada una de las zonas de microzonificación y realizarles estudios estadísticos para obtener finalmente las curvas de diseño.
- ✓ Para los estudios sísmicos particulares de sitio, artículo A.2.10 de la NSR-10, para la ciudad de Bogotá, pueden utilizarse los espectros de superficie, calculados con el sismo de Quetame de 2008, registrados por la mayoría de las estaciones de la RAB y si se requieren sismos sintéticos, también se sugiere utilizarlos.
- ✓ Necesidad de utilizar el espectro de aceleración vertical en el diseño de cimentaciones

Por último, se propone para futuros estudios, investigar sobre la posibilidad de realizar una curva unificada, desde la roca hasta la superficie. La curva según lo observado debe ser exponencial, de la forma: $\frac{G}{G_{MAX}} = k\gamma^{-\alpha}$ en donde K dependa de la relación de vacíos e_0 y del módulo Bulk (volumétrico); y α dependa de la relación de Poisson y del esfuerzo de confinamiento.

Hasta aquí termina lo referente al comportamiento del suelo frente a los movimientos sísmicos, y se prosigue con el comportamiento de la estructura de muros de cortante frente al sismo de entrada.

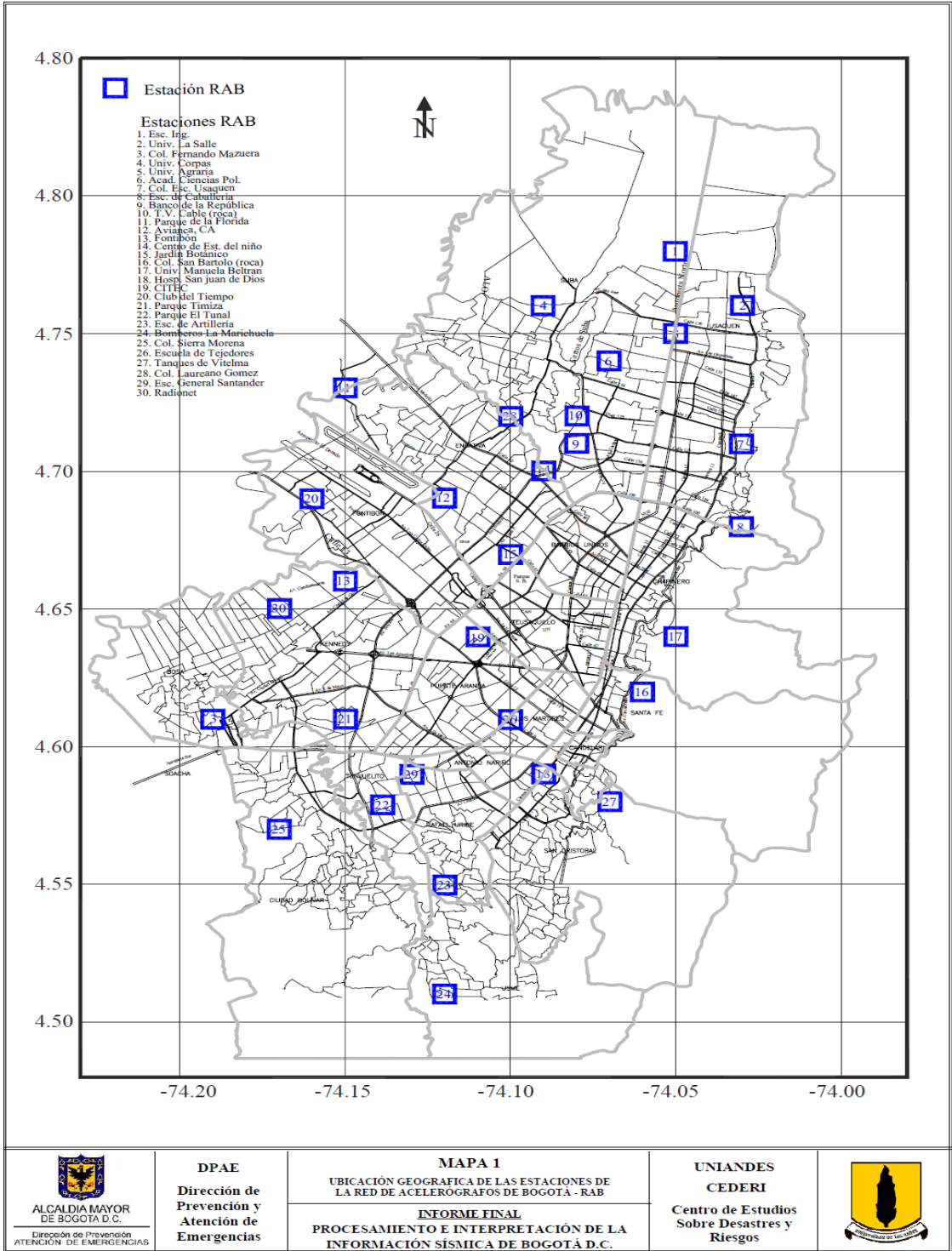
Con el objeto de organizar el trabajo se determino investigar de acuerdo a cada zona de la MZSB del 2010.

CAPITULO 3. REGISTROS DE ACTIVIDAD SISMICA EN LA SABANA DE BOGOTA

La *Sabana* de Bogotá está localizada en una zona geológica, de actividad sismo tectónica. Las fallas más importantes se detallan minuciosamente en el anexo 3, basándose en el informe del INGEOMINAS, realizado en el año 2005, por Montoya y Reyes. De conformidad con el anexo 3 y desde el punto de vista geológico, se observa que la actividad sísmica es activa y reciente, confirmando así los datos históricos de los sismos acontecidos en los últimos quinientos años. Son notables, los sismos ocurridos en los años 1785, 1827 y 1917, con intensidades de VIII, que causaron daños medianos en la infraestructura y viviendas, de la incipiente ciudad; y también los sismos ocurridos en los años, 1743, 1826, 1923 y 1967, con una intensidad de VII, menor a la anterior, que causaron daños mayores en las edificaciones e infraestructura de la ciudad.

En ese orden de ideas, las autoridades de la ciudad de Bogotá, se dispusieron a enfrentar el problema del riesgo sísmico, sobre el área metropolitana de la ciudad, mediante la implementación de la Red de Acelerógrafos de Bogotá - RAB. La red se comenzó a instalar, en el año de 1997, como resultado del Convenio Interadministrativo, suscrito entre el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, (FOPAE) y el Instituto Colombiano de Geología y Minería, (INGEOMINAS). Para cumplir con este propósito, se instalaron 30 acelerógrafos digitales, marca KINEMATRICS, modelos ETNA y K-2, que se distribuyeron en el área urbana de la ciudad, conformando la red de Acelerógrafos, RAB.

En el año 2003 se instrumentó el sistema telemétrico para la RAB, para realizar las labores de operación y mantenimiento de cada una de las estaciones. La RAB, actualmente en funcionamiento, está conformada por las siguientes estaciones, que se presentan en el siguiente mapa y en la tabla adjunta:



Fuente: DPAAE, 2008

ESTACIONES DE LA RAB, QUE REGISTRARON EL SISMO DE QUETAME (CUNDINAMARCA), EL 24 DE MAYO DE 2008 A LAS 19:20 HORAS, DE MAGNITUD 5.7 ML Y PROFUNDIDAD SUPERFICIAL

N°	NOMBRE DE LA ESTACION	CODIGO	LAT N (°)	LONG E (°)	DIRECCION
1	ESCUELA DE INGENIERIA	CEING	4.7833	-74.0458	Av 13 No. 205 - 59
2	UNIVERSIDAD DE LA SALLE	CUSALL	4.7559	-74.0264	Cr 7 No. 172 - 85
3	COLEGIO FERNANDO MAZUERA	CBOSA	4.6066	-74.192	Cl 68A Sur No. 87D - 09
4	UNIVERSIDAD CORPAS	CCORP	4.7617	-74.094	Av Corpas, Km. 3, Vía Suba
5	UNIVERSIDAD AGRARIA	CUAGR	4.7542	-74.0527	Cl 170 No. 50 - 90
7	COLONIA ESCOLAR DE USAQUEN	CUSAQ	4.7064	-74.0332	Cl 127 No. 12A - 20
8	ESCUELA DE CABALLERIA	CESCA	4.6822	-74.0332	Cr 7 con Cl 106
9	BANCO DE LA REPÚBLICA	CBANC	4.7085	-74.0791	Cr 57 No. 120 - 01
10	T.V. CABLE	CTVCA	4.7181	-74.0848	Dg 120 No. 86 - 75
11	PARQUE LA FLORIDA	CFLOD	4.7295	-74.1464	Km. 3, vía Engativa- Cota
12	AVIANCA	CAVIA	4.6858	-74.119	Av El Dorado No. 92 - 30
13	FONTIBÓN	CFONT	4.6607	-74.1454	Cl 13 con Cr 96
14	CENTRO DE ESTUDIOS DEL NIÑO	CNIÑO	4.6962	-74.0932	Cl 71 No. 73A - 44
15	JARDÍN BOTÁNICO	CJABO	4.6665	-74.0993	Cl 57 No. 61 - 13
16	COLEGIO SAN BARTOLOME	CBART	4.6205	-74.062	Cr 5 No. 34 - 00
17	UNIVERSIDAD MANUELA BELTRAN	CUNMA	4.6415	-74.0543	Cr 3 Este No. 60 - 50
19	CITEC	CCITE	4.6395	-74.1131	Cr 65B No 17A - 11
20	CLUB EL TIEMPO	CTIEM	4.6943	-74.1558	Cl 32 No. 125 - 01
21	PARQUE TIMIZA	CTIMI	4.6084	-74.1511	Dg 42 Sur No. 62 - 67
22	PARQUE EL TUNAL	CTUNA	4.5753	-74.1313	Cl 48 con Av El Tunal
24	BOMBEROS LA MARICHUELA	CMARI	4.5117	-74.1171	Cr 1A con cl 76A Bis sur
25	COLEGIO SIERRA MORENA	CSMOR	4.5746	-74.1701	Cl 77A Sur No. 65 - 15
26	ESCUELA DE TEJEDORES	CTEJE	4.6149	-74.0951	Cr 32 No. 12 - 55
27	TANQUES DE VITELMA	CVITE	4.575	-74.0716	Cl 9 sur con Cr 9 Este
29	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	4.5881	-74.1301	Cl 44 Sur No. 45A - 15
30	COLEGIO KENNEDY	CCKEN	4.6459	-74.1715	Cl 38 Sur No 107C - 29

Fuente: DPAAE, 2014

3.1 EVENTOS SISMICOS DETECTADOS POR LAS ESTACIONES RAB

En la Tabla siguiente, se presentan los eventos registrados por las estaciones de la RAB para la ciudad de Bogotá hasta el año 2008, los eventos se presentan en la tabla 3.1.

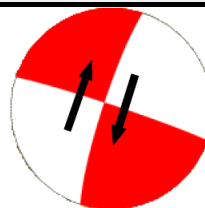
N°	FECHA d/m/a	HORA UT	SIMO	MAGNITUD ML	PROFUNDIDAD km	COORDENADAS DEL EPICENTRO		ESTACIONES DE LA RED RAB QUE REGISTRARON LOS SISMOS
						Lat. N	Long. E	
1	25/01/1999	18:19	Córdoba (Quin.)	6.2	Superficial	4.44	-75.71	CBART
2	25/01/1999	22:04	Córdoba (Quin.)	5.4	Superficial	4.41	-75.73	CBART
3	14/04/1999	07:26	Nido de Bucaramanga (Sant.)	6.1	170	6.82	-73.14	CBART
4	01/06/1999	21:42	Guayabetal (Cund.)	5.2	Superficial	4.29	-73.73	CEING, CBART
5	10/06/1999	03:22	Quetame (Cund.)	4.7	Superficial	4.31	-73.79	CBART
6	17/07/1999	12:23	Sativasur (Boya.)	5.6	Superficial	6.1	-72.74	CEING, CUSAL, CCORP, CPSUB, CAVIA, CBART
7	08/11/1999	05:52	Betulia (Sant.)	6.5	160	6.92	-73.18	CEING, CUSAL, CCORP, CUAGR, CPSUB, CTVCA, CFLOD, CAVIA, CFONT, CBART, CDIOS, CTUNA, CARTI, CVITE, CGRAL, CRADI
8	05/02/2000	21:53	Nido de Bucaramanga (Sant.)	6	160	6.77	-73.21	CUAGR, CTVCA
9	12/09/2000	10:55	Nido de Bucaramanga (Sant.)	5.9	160	6.76	-73.18	CUAGR, CBART
10	08/11/2000	07:01	Juradó (Choc.)	6.4	Superficial	7.13	-77.94	CUAGR, CFLOD
11	24/11/2000	19:51	Nido de Bucaramanga (Sant.)	5.7	160	6.79	-73.02	CUAGR, CTVCA
12	17/12/2000	06:14	Nido de Bucaramanga (Sant.)	5.8	153	6.77	-72.97	CEING, CBART, CUAGR, CPSUB, CUSAQ, CTVCA, CLAGO
13	03/05/2001	16:14	Los Santos (Sant.)	5.3	159	6.83	-73.06	CUAGR
14	18/05/2001	15:04	Los Santos (Sant.)	5.5	159	6.82	-73.07	CBART, CTVCA, CUAGR
15	22/09/2001	03:23	Tuluá (Valle)	6.1	180	3.99	-76.09	CUAGR, CBART, CGRAL, CTVCA
16	19/11/2001	21:01	Cepitá (Sant.)	6.8	163	6.8	-72.97	CEING, CUAGR, CGRAL, CPSUB
17	12/05/2002	06:23	Los Santos (Sant.)	5.2	164	6.85	-73.06	CUAGR
18	12/07/2002	18:08	Cepitá (Sant.)	5.3	174	6.84	-73.03	CUAGR
19	23/11/2002	23:56	La Uribe (Meta)	5.6	Superficial	3.31	-74.41	CAVIA, CUAGR, CUSAQ
20	22/01/2003	15:55	Colombia (Huil.)	5.2	Superficial	3.58	-74.54	CAVIA, CUAGR
21	03/10/2004	08:30	Los Santos (Sant.)	5.6	158	6.84	-73.04	CUAGR, CGRAL
22	15/11/2004	09:06	Océano Pacífico	6.7	24	4.81	-77.79	CUAGR, CEING
23	25/02/2005	06:41	Los Santos (Sant.)	5.8	153	6.78	-73.17	CUAGR
24	21/04/2005	03:39	Tadó (Choc.)	5.3	88	5.19	-76.39	CUAGR
25	26/09/2005	01:55	Perú (Mw)	7.5	132	-5.61	-76.37	CUAGR
26	06/05/2007	04:47	Betulia (Sant.)	6	136	6.88	-73.26	CUSAL, CBANC
27	17/02/2008	21:16	Los Santos (Sant.)	5.6	143	6.84	-73.06	CUAGR, CGRAL
28	25/03/2008	07:38	Guaduas (Cund.)	4.7	Superficial	5.06	-74.72	CUAGR, CGRAL
29	28/03/2008	16:36	Zapatoca (Sant.)	5.3	135	6.88	-73.2	CUAGR
30	24/05/2008	19:20	Quetame (Cund.)	5.7	Superficial	4.4	-73.81	CEING, CUSAL, CBOSA, CCORP, CUAGR, CUSAQ, CESCA, CBANC, CTVCA, CFLOD, CAVIA, CFONT, CNIÑO, CJABO, CBART, CUNMA, CCITE, CTIEM, CTIMI, CTUNA, CMARI, CSMOR, CTEJE, CVITE, CGRAL, CCKEN
31	24/05/2008	19:23	Quetame (Cund.)	4.5	Superficial	4.42	-73.83	CUAGR, CMARI, CBART
32	24/05/2008	20:08	Quetame (Cund.)	4.4	Superficial	4.41	-73.76	CMARI
33	24/05/2008	20:21	Quetame (Cund.)	4.2	Superficial	4.37	-73.72	CGRAL

Tabla 3.1, de registros de las estaciones de la RAB. Fuente: DEPAE

Los eventos con mayor cubrimiento por la RAB, fueron el sismo de Betulia en el Departamento de Santander, ocurrido el 8 de noviembre de 1999 y el de Quetame, Departamento de Cundinamarca, acontecido el 24 de Mayo de 2008, con 16 y 26 estaciones respectivamente. Por tener mayor cobertura se toma el sismo de Quetame, como objeto de análisis del presente trabajo.

SISMO DE QUETAME CUNDINAMARCA			
MECANISMO FOCAL-PROYECTO GLOBAL CMT			
PLANO	AZIMUT	BUZAMIENTO	ESTRIA
PRINIPAL	198	83	177
SECUNDARIO	288	87	7

DATOS SISMO DE QUETAME-CUNDINAMARCA (2008)		
EPICENTRO:	8.6 km Al NE DE QUETAME-CUND.	
HORA:	19.20	UT
LATITUD:	4.399	°N
LONGITUD:	-73.814	°E
PROFUNDIDAD:	3.9	Km
FASE INTENSA:	15.1	S
INTENSIDAD DE ARIAS:	1.2E+00	cm/s
MAGNITUD (Richter):	5.7	ML
MAGNITUD (P.G.-CMT):	5.9	M _w
CANAL DE REGISTRO:	1	
FILTRO A:	BUTTERWORTH ORDEN 6, PASA BANDA	
ESTACIONES DE LA RAB QUE REGISTRARON:	27	



Proyección estereográfica del mecanismo focal, calculado por el Proyecto Global CMT, (Color rojo en compresión y blanco en dilatación), Quetame-Cundinamarca, 2008-INGEOMINAS

Como mencione atrás, 27 Estaciones de la RAB y 21 estaciones de la RSNC, registraron el sábado 24 de mayo de 2008, a las 14:20 hora local, un sismo cuyo epicentro se localizó a 8.60 km al noroeste de la cabecera municipal de Quetame (Cundinamarca), de profundidad superficial y magnitud local de 5.7 (magnitud de Richter). El proyecto global CMT estableció la magnitud en 5.9, diferencia que se explica por la discrepancia de escalas en las fases consideradas y al tipo de registros. De igual manera se estableció un momento sísmico escalar de 7.60×10^{24} dinas-cm. (Datos tomados del Informe preliminar N°2, del INGEOMINAS de junio de 2008.).

La magnitud de un sismo es una característica única, que define cuantitativamente un sismo y se refiere específicamente a la energía sísmica liberada en el foco. El tamaño de los terremotos está basado en el valor de la amplitud de las ondas sísmicas registradas por un

sismógrafo o un acelerógrafo. La magnitud está limitada por la resistencia de las rocas de la corteza terrestre y la longitud de ruptura probable en el sitio de la falla. Existen diferentes escalas para la cuantificación de la magnitud, dependiendo del tipo de onda en la que se basa cada una de ellas: Por ejemplo la magnitud local M_L ; la magnitud momento M_w ; la magnitud de coda M_c ; la magnitud de ondas internas M_b ; la magnitud de ondas superficiales M_s ; la magnitud de momento sísmico escalar M_o y la magnitud duración M_I .

$$M_b = \log\left(\frac{A(D)}{T}\right) + F_b + (D, h)$$

(Magnitud de Onda, desarrollada por Gutenberg)

$$M_c = a \cdot \log(T_c) + d \cdot D + C$$

(Magnitud Coda, calculada en función de la duración del sismo)

$$M_w = \log\left(\frac{(M_o)}{1.5}\right) - 10.7$$

(Magnitud Momento, calculado en función del momento sísmico escalar M_o)

3.2 TECNICAS DE INTERPRETACION DE LAS SEÑALES DE LOS ACELEROGRAFOS

Los espectros de amplitudes de Fourier, EAF, en el dominio de la frecuencia, son útiles para hallar las funciones de transferencia, esta función puede definirse como la relación existente, en cada rango de las frecuencias, entre la señal incidente, que aflora en la roca y el registro obtenido en el acelerógrafo, en la superficie. Los espectros de respuesta constituyen los valores máximos relacionados con la historia de cada uno de los movimientos, mientras que la función de transferencia representa la respuesta del suelo y pueden calcularse a partir de modelos, en el dominio de la frecuencia, sobre matrices propagadoras, usando procesos estacionarios o no estacionarios. Como existen variaciones en las funciones de transferencia, dependiendo del movimiento del depósito de suelo, deben construirse funciones de transferencia para sismos lejanos, (de baja frecuencia); sismos cercanos, (alta frecuencia); y sismos intermedios. Para bajas aceleraciones, la función de transferencia se comporta linealmente, correspondiendo a periodo menores y mayores amplificaciones, mientras que las altas aceleraciones representan funciones de transferencia con picos máximos tirados hacia la izquierda y menor amplitud. El incremento del periodo se debe a la pérdida de rigidez del suelo y la reducción de la amplitud obedece al incremento del amortiguamiento, por las deformaciones.

Las componentes principales de cada uno de los registros sísmicos son: ESTE-OESTE, VERTICAL Y NORTE SUR, por esta razón se disponen de tres hojas por cada registro en

superficie, de una estación modelo ETNA y seis hojas para las estaciones modelo K-2, para los registros en superficie y profundidad (*Procesamiento de señales red RAB-DPAE, 2008*).

Utilizando los trabajos de recopilación de información y organización, del banco de datos de exploraciones y ensayos de suelos, realizado por el Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, FOPAE; se realiza este trabajo que tiene como objetivo principal la comparación de las señales de entrada sobre el suelo y roca (donde sea viable), en las estaciones de la RAB, que registraron el sismo de Quetame de 2008, mediante los espectros de amplitudes de Fourier y el proceso de deconvolución respectivamente, con las propuestas por la microzonificación sísmica de Bogotá. El proceso de deconvolución es complejo y dispendioso, porque la información necesaria sobre el suelo, es producto única y exclusivamente de ensayos muy particulares, tales como el Down Hole, columna resonante entre otros. En el anexo 1, se presenta el marco teórico para realizarlo.

Como mencione anteriormente, el FOPAE depuro los registros de las estaciones RAB de la ciudad de Bogotá, y las entregas como señales corregidas EO, V y NS, El FOPAE, estimo la valoración de la componente rotada para cada registro, a objeto de computarlas más rápidamente; buscando simplificar los análisis de resultados, utilizo la componente del movimiento en el sentido transversal SH, en lugar de utilizar las componentes EO y NS, hallando el Angulo de rotación, para el cual la resultante tiene la mayor intensidad de Arias. Para la componente SH, se determinó la aceleración máxima, la intensidad de Arias, la duración de la fase intensa, registrada en la superficie, las aceleraciones máximas y los periodos fundamentales, (periodo en el cual se presentó la mayor amplificación de la señal). La velocidad, se calculó por dos métodos: El primero aplicando la siguiente formula:

$$\overline{V_{S_1}} \approx \frac{4H}{T_f}$$

$\overline{V_{S_1}}$: Velocidad de onda promedio del depósito hasta la roca (FOPAE)

H: Espesor del depósito hasta la roca. (FOPAE)

T: Periodo fundamental, primer modo de vibración, del depósito de suelo.

El segundo método para hallar V_{S_2} , consistió en la medición, para cada uno los registros de las ondas de corte SH del sismo de Quetame, del tiempo que le tomo a la onda de corte pasar por el sensor de profundidad hasta el correspondiente en superficie. (Se escogieron ventanas de tiempo inicial, para que correspondieran los pulsos de la señal en profundidad, DH y su respuesta en superficie).

El resumen de los resultados hallados por el FOPAE, se presentan en la tabla 3.2, recopilada y editada por el autor.

GEOLOGIA Y MICROZONIFICACION SISMICA NSR-10, DE LOS SITIOS DE LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES													
No.	CÓDIGO	NOMBRE	ZONA MZSB-10	DOWN	FASE			T	PROF.	Vs ₁ m/s	Vs ₂ m/s		
				HOLE m	EPIC. Km	HIPOC. Km	I. ARIAS cm/s	INTENSA s	Amax cm/s ²			FUND. s	DEP, m
1	CEING	E. COL. DE INGENIERÍA	Lacustre-300		49.3	49.5	5.1	46.2	24.8	1.95	110	226	0
2	CUSAL	UNIVERSIDAD DE LA SALLE	Lacustre-50		46.3	46.4	1.1	28.6	14	0.65	30	185	0
3	CBOSA	COL. FERNANDO MAZUERA	Aluvial-100		47.7	47.9	1.7	21.9	25.2	0.95	70	295	0
4	CCORP	UNIVERSIDAD CORPAS	Lacustre-300		49.9	50.1	2.2	69.8	16	2.7	220	326	0
5	CUAGR	UNIAGRARIA	Lacustre-200	130	46.5	46.7	3.7	44.5	25.6	2.2	130	236	249
6	CPSUB	ACADEMIA DE POLICÍA	Piedemonte		46.5	46.7	3.7	44.5	25.6	2.2	130	236	249
7	CUSAQ	COL. ESCOLAR DE USAQUEN	Piedemonte A		41.6	41.8	8.2	36.4	39.7	0.45	30	267	0
8	CESCA	ESCUELA DE CABALLERÍA	Cerros		39	39.2	0.67	17.4	14.2	0.3	0	0	0
9	CBANC	BANCO DE LA REPUBLICA	Lacustre-50		45	45.2	0.71	26.1	14.3	1.05	60	229	0
10	CTVCA	T.V. CABLE	Cerros		45.8	46	0.67	23.5	18.5	0.25	0	0	0
11	CFLOD	PARQUE LA FLORIDA	NR		51.8	52	2.7	52.9	18.5	4.25	500	471	0
12	CAVIA	AVIANCA	Lacustre-500		44.2	44.4	3.6	50.3	28.1	2.95	300	407	0
13	CFONT	PTA DE BOMBEO FONTIBON	Aluvial-300		46.8	47	2.8	62.3	17	3.2	270	338	0
14	CNIÑO	C. DE ESTUDIOS DEL NIÑO	Lacustre-300		44.9	45.1	6.1	31.6	26.6	2.45	220	359	0
15	CJABO	JARDÍN BOTÁNICO	Lacustre-300		43.3	43.5	5	32.6	33.3	2.9	260	359	0
16	CBART	COLEGIO SAN BARTOLOMÉ	Dep. Ladera		36.3	37.7	0.73	17.1	24.7	0.3	0	0	0
17	CUNMA	U. MANUELA BELTRÁN	Dep. Ladera		37.1	37.3	4.3	15.8	49.4	0.2	10	0	0
18	CDIOS	HOSPITAL SAN JUAN DE DIOS	Piedemonte		37.1	37.3	4.3	15.8	49.4	0.2	10	0	0
19	CCITE	CITEC	Lacus. Aluv-300		42	42.2	2.5	40.6	24.9	1.8	200	444	0
20	CTIEM	CLUB EL TIEMPO	Lacustre-500		49.7	49.9	2.8	32.6	26.8	3.25	375	462	0
21	CTIMI	PARQUE TIMIZA	Aluvial-200		43.6	43.8	1.3	36.1	15.7	1.65	160	388	0
22	CTUNA	PARQUE TUNAL	Aluvial-100		40	40.2	1.5	25.2	21.4	0.9	80	356	0
23	CARTI	ESCUELA DE ARTILLERÍA	Piedemonte		40	40.2	1.5	25.2	21.4	0.9	80	356	0
24	CMARI	BOMBEROS MARICHUELA	Dep. Ladera		35.8	36	6.4	19.8	46.5	0.4	25	300	0
25	CSMOR	COLEGIO SIERRA MORENA	Cerros		43.4	43.6	0.23	20.1	9	0.3	0	0	0
26	CTEJE	ESCUELA DE TEJEDORES	Aluvial-200		39.1	39.3	3.5	14.1	33.5	0.85	80	376	0
27	CVITE	TANQUES DE VITELMA	Dep. Ladera		34.5	34.7	1.4	15.1	26.3	0.15	0	0	0
28	CLAGO	COLEGIO LAUREANO GÓMEZ	Lacustre-300		34.5	34.7	1.4	15.1	26.3	0.15	0	0	0
29	CGRAL	ESCUELA GENERAL SANTANDER	Aluvial-200	100	40.6	40.8	1.6	35.9	18.5	1.1	100	364	334
30	CCKEN	COL-KENNEDY	Aluvial-300		47.9	48	1.5	43.4	17.7	1.65	220	533	0
31	CBOG1	INGEOMINAS	Lacustre-200	180	39.5	39.7	7.3	29.6	37.3	2.1	180	343	368
32	CBOG2	GAVIOTAS (INGEOMINAS)	Dep. Ladera		39.5	39.7	7.3	29.6	37.3	2.1	180	343	368
33	CREAC	REACTOR (INGEOMINAS)	Lacustre-300		39.5	39.7	7.3	29.6	37.3	2.1	180	343	368

Fuente: Elaboración propia, con datos del DPAAE.

La RAB está conformada por sismógrafos marca KINEMATRICS, modelos ETNA y K-2; la forma como estos equipos registran, requiere de filtros y correctivos mediante funciones de transferencia, que se describen con claridad en el anexo 4. El FOPAE debió realizar entre otros los siguientes procedimientos antes de aprovechar la información:

a) Catalogar los registros producidos, para el sismo escogido, para cada una de las estaciones.

b) Transformar los archivos madre, obtenidos en el paso anterior, en formato *.EVT, a archivos planos, utilizando el aplicativo de KINEMATRICS, KW2CNTS.EXE en ambiente DOS. Para obtener los archivos planos de cada componente en Gal, (Unidades de aceleración en el sistema cegesimal: Donde $1.0 \text{ Gal} = 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$, equivalente en el sistema

SI, a $1.0 \text{ Gal} = 0.01 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$), corregidos por línea base, sustrayendo el promedio de los datos del pre-evento, con el comando KW2CNTS nombre EVT-n-g-p.

c) Corrección y filtrado de los archivos planos *.nPG (n=1, 2, 3... 6) hasta obtener los *.n.ACE. Este procedimiento se basa en la corrección de línea base polinomial de tipo lineal, mediante el empleo de un filtro Butterworth pasa bandas 0.25 y 50 Hz, de sexto orden, obteniendo finalmente los resultados, *1.ACE, *2.ACE, *3.ACE para el modelo ETNA y *1.ACE, *2.ACE, *3.ACE, *4.ACE, *5.ACE, *6.ACE para el modelo K2.

En este trabajo se calcularan entre otros los siguientes los siguientes parámetros sísmicos, mediante el programa Degtra A4:

- 1) Duración estimada entre el 5 y 95% de la Intensidad de Arias.
- 2) Intensidad de Arias en cm/s.
- 3) Historias de aceleraciones, velocidades y desplazamientos.
- 4) Máximas aceleraciones, velocidades y desplazamientos.
- 5) Espectros de respuesta para 2, 5 y 10% de amortiguamiento de aceleraciones, velocidades y desplazamientos.
- 6) Espectro de Amplitudes de Fourier.

CAPITULO 4. EVALUACION DE LA INTENCIDAD DE ARIAS, ESPECTROS DE AMPLITUDES DE FOURIER Y DE RESPUESTA, PARA AMORTIGUAMIENTOS DEL 2% Y EL 5% DEL AMORTIGUAMIENTO CRITICO RESPECTIVAMENTE, DEL SISMO DE QUETAME DEL 2008, REGISTRADO POR LAS ESTACIONES R.A.B DE BOGOTA.

La Dirección de prevención y atención de emergencias, DPAAE, en el año 2008, presentó un informe a la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., que contenía la evaluación de los diferentes parámetros que caracterizaron el sismo de Quetame, así como los archivos en medio magnético de los acelerógrafos de la R.A.B., en los sentidos EO, V y NS, ya corregidos y filtrados. El resumen se presenta en las tablas 4-1 y 4-2.

Con estas señales depuradas, se realizaron los análisis preliminares, mediante el siguiente procedimiento:

a) Lectura del acelerograma y elaboración de gráficas en el sentido EO (X), V y NS (Y), para posteriormente alimentar el programa de procesamiento de datos de la UNAM, Degtra-4A, de distribución gratuita.

b) Cálculo de la intensidad de Arias: Este parámetro sirve para determinar el riesgo sísmico de un área geográfica. Su creador, fue el profesor, Arturo Arias de la Universidad de Chile y se dio a conocer por primera vez en 1969, cuando el Massachusetts Institute of Technology Press, publicó la investigación de este docente. La Intensidad de Arias, es una medida instrumental, que sirve para determinar los daños que un sismo provoca en las estructuras y edificaciones. La IA permite determinar la reacción de un suelo determinado ante un movimiento sísmico. La técnica que utiliza la IA, es respecto al registro de las aceleraciones de un sismo, obtenidos a través de los acelerógrafos.

Esta técnica determina el patrón de amplificación o de atenuación, de las ondas sísmicas, que viajan por el interior de la tierra donde se determina el tipo de onda con respecto a los diferentes tipos de suelo. Por ejemplo, en suelos blandos, rocosos, consolidados, etc. La Intensidad de Arias relaciona las oscilaciones sísmicas respecto al daño producido en la infraestructura de un edificio. La intensidad de Arias está definida por la siguiente integral:

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} a^2(t) dt$$

El resultado de la intensidad de Arias, que se presenta para cada una de las señales, es un valor proporcional a la intensidad de Arias y para obtener su verdadero valor debe

multiplicarse por $\frac{\pi}{2g}$, mostrando la duración de la fase intensa, desde el punto donde inicia y hasta donde termina. La fase intensa se desarrollada entre el 5% y el 95% de la intensidad de Arias. De otra parte el valor calculado, representa el valor normalizado.

c) **Calculo del espectro de amplitudes de Fourier:** Para la evaluación del espectro de Fourier, que en realidad es la transformada rápida de Fourier o FFT, se toma en cuenta la señal limitada por los dos cursores a la izquierda y derecha de la señal. Para el cálculo es necesario suministrar la cantidad de puntos con los que se ejecutara la transformada rápida de Fourier, NFT y el DT, (rango de tiempo utilizado en la señal), además se debe ingresar el suavizado, que es un factor, para suavizar el espectro de amplitudes. La amplitud suavizada para la frecuencia f , $A_s(f)$, viene dada por:

$$[A_s(f)]^2 = \frac{1}{N} \sum [A(f)]^2$$

La suma se realiza entre las frecuencias f_1 y f_2 , donde N es el número de puntos comprendidos entre las frecuencias f_1 y f_2 , así:

$$f_1 = f \cdot 2^{\left(-\frac{1}{2F_s}\right)}$$

$$f_2 = f \cdot 2^{\left(\frac{1}{2F_s}\right)}$$

De igual manera se hace necesario utilizar un % de Taper, antes de hacer la transformada rápida. El programa Degtra A4 utiliza un tapering cosenoidal cuya longitud, al inicio y al final de la señal, es una fracción de su longitud total.

d) **Evaluación de los espectros de respuesta:** Se calculan con el programa Degtra A4 Ver 4.0, desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, basándose en el método de las 8 constantes, desarrollado por A.K. Chopra y publicado en el libro “Dynamics of Structures” en 1965, las ecuaciones que se resolvieron fueron las siguientes:

$$U_{i+1} = A_{ui} + B_{ui} + C_{pi} + D_{pi+1} \quad (5.2.5a)$$

$$\dot{U}_{i+1} = A'_{ui} + B'_{ui} + C'_{pi} + D'_{pi+1} \quad (5.2.5b)$$

Ecuaciones que requieren para su solución, la evaluación de las siguientes constantes:

$$A = e^{-\zeta w_n \Delta t} \left(\frac{\zeta}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \sin w_D \Delta t + \cos w_D \Delta t \right)$$

$$\begin{aligned}
B &= e^{-\zeta w_n \Delta t} \left(\frac{1}{w_D} \sin w_D \Delta t \right) \\
C &= \frac{1}{k} \left\{ \frac{2\zeta}{w_n \Delta t} + e^{-\zeta w_n \Delta t} \left[\left(\frac{1-2\zeta^2}{w_D \Delta t} - \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \right) \sin w_D \Delta t - \left(1 + \frac{2\zeta}{w_n \Delta t} \right) \cos w_D \Delta t \right] \right\} \\
D &= \frac{1}{k} \left[1 - \frac{2\zeta}{w_n \Delta t} + e^{-\zeta w_n \Delta t} \left(\frac{2\zeta^2 - 1}{w_D \Delta t} \sin w_D \Delta t + \frac{2\zeta}{w_n \Delta t} \cos w_D \Delta t \right) \right] \\
A' &= -e^{-\zeta w_n \Delta t} \left(\frac{w_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin w_D \Delta t \right) \\
B' &= e^{-\zeta w_n \Delta t} \left(\cos w_D \Delta t - \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin w_D \Delta t \right) \\
C' &= \frac{1}{k} \left\{ -\frac{1}{\Delta t} + e^{-\zeta w_n \Delta t} \left[\left(\frac{w_n}{\sqrt{1-\zeta^2}} + \frac{\zeta}{\Delta t \sqrt{1-\zeta^2}} \right) \sin w_D \Delta t + \frac{1}{\Delta t} \cos w_D \Delta t \right] \right\} \\
D' &= \frac{1}{k \Delta t} \left[1 - e^{-\zeta w_n \Delta t} \left(\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin w_D \Delta t + \cos w_D \Delta t \right) \right]
\end{aligned}$$

Una vez resueltas las ecuaciones, el resultado de cada uno de los espectros, se muestra para amortiguamientos del 2% y el 5% del crítico respectivamente.

e) Evaluación del espectro elastoplástico: El programa Degtra A4, realiza el espectro de respuesta elastoplástica, mediante los siguientes parámetros:

NT: Numero de periodos para los que se calcula el espectro.

T_{min}: Periodo inicial del espectro

T_{max}: Periodo final del espectro

C_{si}: Amortiguamiento expresado como porcentaje del crítico.

Q: Demanda de ductilidad deseada.

β: Rigidez de la rama post-fluencia, expresada como una fracción de la rigidez inicial.

Los espectros que desarrolla el programa Degtra A4 son de Resistencia y Desplazamiento. La definición de cada uno de ellos es la siguiente:

Resistencia: Por este método se calculan las resistencias necesarias, por unidad de masa, para obtener la demanda de ductilidad deseada.

Desplazamiento: Para este procedimiento, se calcula el desplazamiento máximo, que tendría un oscilador de un grado de libertad elastoplástico, con cierto periodo y amortiguamiento y con una resistencia tal, que la demanda de ductilidad sea la especificada. Las respuestas se analizan para NT periodos entre T_{min} y T_{max}. Para la rama

elástica se utiliza el método descrito anteriormente de las 8 constantes, de A. K. Chopra y para la parte inelástica el método desarrollado por M. Ordaz, similar al anterior.

Los datos suministrados al programa son los siguientes:

Periodo mínimo: 0.20 s

Periodo máximo: 5.0 s

Amortiguamiento: 5 y 2% del critico

$Q=2$ y $\beta=0.50$

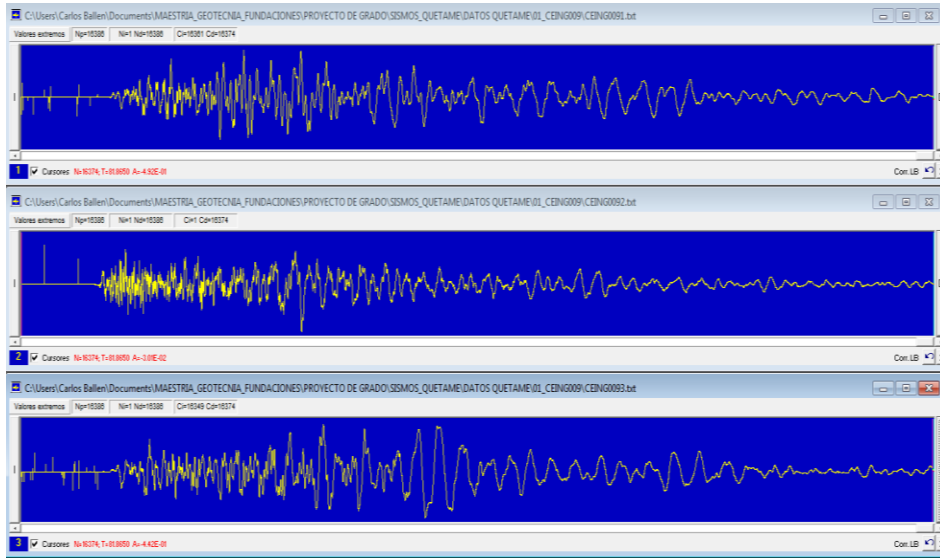
RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE DATOS ELABORADO POR LA DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.-DPAE-2008																			
#	DIRECCION	ESTACION	CODIGO	ARCHIVO	LATITUD °N	LONGITUD °E	EQUIPO kinemétricos	GEOLOGIA	TOPOGRAFIA	EPICENTRO Km	HIPOCENTRO Km	RANGO DE REGISTRO	A _{max} Gal	t s	V _{max} cm/s	t s	D _{max} cm	t s	FILTRO
1	E-O	E. COL. DE INGENIERÍA	CEING	CEING009.EVT	4.7833	-74.0458	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	49.3	49.5	2g	22.03	19.95	4.74	25.23	1.41	25.83	A
1	V	E. COL. DE INGENIERÍA	CEING	CEING009.EVT	4.7833	-74.0458	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	49.3	49.5	2g	9.81	25.13	1.50	22.99	0.46	23.42	A
1	N-S	E. COL. DE INGENIERÍA	CEING	CEING009.EVT	4.7833	-74.0458	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	49.3	49.5	2g	23.71	27.09	7.81	37.00	2.61	37.47	A
2	E-O	UNIVERSIDAD DE LA SALLE	CUSAL	CUSAL005.EVT	4.7559	-74.0264	ETNA	Coluvión	PLANA	46.3	46.4	2g	0.15	0.24	0.03	0.24	0.01	0.25	A
2	V	UNIVERSIDAD DE LA SALLE	CUSAL	CUSAL005.EVT	4.7559	-74.0264	ETNA	Coluvión	PLANA	46.3	46.4	2g	0.12	0.20	0.01	0.20	0.00	0.23	A
2	N-S	UNIVERSIDAD DE LA SALLE	CUSAL	CUSAL005.EVT	4.7559	-74.0264	ETNA	Coluvión	PLANA	46.3	46.4	2g	0.14	0.09	0.03	0.30	0.01	0.30	A
3	E-O	COL. FERNANDO MAZUERA	CBOSA	CBOSA001.EVT	4.6066	-74.192	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	47.7	47.9	2g	0.25	0.20	0.04	0.17	0.01	0.20	A
3	V	COL. FERNANDO MAZUERA	CBOSA	CBOSA001.EVT	4.6066	-74.192	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	47.7	47.9	2g	0.11	0.19	0.02	0.19	0.00	0.18	A
3	N-S	COL. FERNANDO MAZUERA	CBOSA	CBOSA001.EVT	4.6066	-74.192	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	47.7	47.9	2g	0.15	0.18	0.04	0.17	0.01	0.18	A
4	E-O	UNIVERSIDAD CORPAS	CCORP	CCORP004.EVT	4.7617	-74.094	ETNA	Terraza Alta	PLANA	49.9	50.1	2g	17.63	24.57	3.41	41.26	1.40	40.79	A
4	V	UNIVERSIDAD CORPAS	CCORP	CCORP004.EVT	4.7617	-74.094	ETNA	Terraza Alta	PLANA	49.9	50.1	2g	8.88	10.02	1.07	26.63	0.28	60.79	A
4	N-S	UNIVERSIDAD CORPAS	CCORP	CCORP004.EVT	4.7617	-74.094	ETNA	Terraza Alta	PLANA	49.9	50.1	2g	18.71	30.80	3.49	38.72	1.10	47.88	A
5	E-O	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR024.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	22.10	25.39	3.89	51.97	1.43	53.63	A
5	V	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR024.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	11.05	13.51	1.11	26.39	0.35	26.76	A
5	N-S	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR024.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	24.77	23.80	5.50	51.55	2.09	34.23	A
5	E-O ROCA	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR024.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	5.39	24.59	0.63	25.03	0.23	26.50	A
5	V ROCA	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR024.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	4.63	26.59	0.96	26.30	0.33	26.69	A
5	N-S ROCA	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR024.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	3.71	23.01	0.75	33.17	0.25	35.73	A
7	E-O	COL. ESCOLAR DE USAQUEN	CUSAQ	CUSAQ003.EVT	4.7064	-74.0332	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	41.6	41.8	2g	49.98	21.04	5.24	35.10	1.26	34.65	A
7	V	COL. ESCOLAR DE USAQUEN	CUSAQ	CUSAQ003.EVT	4.7064	-74.0332	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	41.6	41.8	2g	19.50	27.78	2.62	34.65	0.56	34.94	A
7	N-S	COL. ESCOLAR DE USAQUEN	CUSAQ	CUSAQ003.EVT	4.7064	-74.0332	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	41.6	41.8	2g	39.65	21.30	6.96	28.04	1.96	40.15	A
8	E-O	ESCUELA DE CABALLERÍA	CESCA	CESCA001.EVT	4.6822	-74.0332	ETNA	Coluvión	ONDULADA	39	39.2	2g	14.23	24.50	1.10	27.03	0.37	30.75	A
8	V	ESCUELA DE CABALLERÍA	CESCA	CESCA001.EVT	4.6822	-74.0332	ETNA	Coluvión	ONDULADA	39	39.2	2g	9.60	17.04	0.63	31.61	0.23	33.49	A
8	N-S	ESCUELA DE CABALLERÍA	CESCA	CESCA001.EVT	4.6822	-74.0332	ETNA	Coluvión	ONDULADA	39	39.2	2g	16.03	24.40	1.09	30.97	0.49	29.29	A
9	E-O	BANCO DE LA REPUBLICA	CBANC	CBANC002.EVT	4.7085	-74.0791	ETNA	Terraza Alta	ONDULADA	45	45.2	2g	15.79	19.50	2.40	19.74	0.42	19.47	A
9	V	BANCO DE LA REPUBLICA	CBANC	CBANC002.EVT	4.7085	-74.0791	ETNA	Terraza Alta	ONDULADA	45	45.2	2g	10.64	8.13	0.96	20.49	0.29	14.25	A
9	N-S	BANCO DE LA REPUBLICA	CBANC	CBANC002.EVT	4.7085	-74.0791	ETNA	Terraza Alta	ONDULADA	45	45.2	2g	14.29	13.86	1.91	14.49	0.48	14.03	A
10	E-O	T.V. CABLE	CTVCA	CTVCA008.EVT	4.7181	-74.0848	ETNA	Coluvión	ONDULADA	45.8	46	2g	12.83	21.80	1.10	30.95	0.23	30.73	A
10	V	T.V. CABLE	CTVCA	CTVCA008.EVT	4.7181	-74.0848	ETNA	Coluvión	ONDULADA	45.8	46	2g	8.92	19.21	0.87	20.26	0.26	20.74	A
10	N-S	T.V. CABLE	CTVCA	CTVCA008.EVT	4.7181	-74.0848	ETNA	Coluvión	ONDULADA	45.8	46	2g	18.23	23.26	1.82	23.19	0.37	28.20	A
11	E-O	PARQUE LA FLORIDA	CFLOD	CFLOD004.EVT	4.7295	-74.1464	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	51.8	52	2g	18.84	14.07	3.68	28.38	1.71	64.23	A
11	V	PARQUE LA FLORIDA	CFLOD	CFLOD004.EVT	4.7295	-74.1464	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	51.8	52	2g	7.78	1.49	1.15	28.81	0.40	28.07	A
11	N-S	PARQUE LA FLORIDA	CFLOD	CFLOD004.EVT	4.7295	-74.1464	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	51.8	52	2g	17.38	14.74	3.64	52.77	1.66	52.21	A
12	E-O	AVIANCA	CAVIA	CAVIA006.EVT	4.6858	-74.119	ETNA	Terraza Alta	PLANA	44.2	44.4	2g	0.24	0.23	0.05	0.30	0.02	0.85	A
12	V	AVIANCA	CAVIA	CAVIA006.EVT	4.6858	-74.119	ETNA	Terraza Alta	PLANA	44.2	44.4	2g	0.09	0.11	0.02	0.32	0.01	0.32	A
12	N-S	AVIANCA	CAVIA	CAVIA006.EVT	4.6858	-74.119	ETNA	Terraza Alta	PLANA	44.2	44.4	2g	0.27	0.19	0.06	0.29	0.02	0.30	A
13	E-O	PTA DE BOMBEO FONTIBON	CFONT	CFONT003.EVT	4.6607	-74.1454	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	46.8	47	2g	17.01	14.93	3.41	14.74	1.59	47.74	A
13	V	PTA DE BOMBEO FONTIBON	CFONT	CFONT003.EVT	4.6607	-74.1454	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	46.8	47	2g	6.77	41.27	2.00	38.23	0.60	37.76	A
13	N-S	PTA DE BOMBEO FONTIBON	CFONT	CFONT003.EVT	4.6607	-74.1454	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	46.8	47	2g	15.62	26.86	3.66	57.86	1.43	57.38	A
14	E-O	C. DE ESTUDIOS DEL NIÑO	CNIÑO	CNIÑO001.EVT	4.6962	-74.0932	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	44.9	45.1	2g	30.91	23.36	5.09	21.61	1.28	21.92	A
14	V	C. DE ESTUDIOS DEL NIÑO	CNIÑO	CNIÑO001.EVT	4.6962	-74.0932	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	44.9	45.1	2g	14.54	24.41	1.95	24.06	0.48	24.41	A
14	N-S	C. DE ESTUDIOS DEL NIÑO	CNIÑO	CNIÑO001.EVT	4.6962	-74.0932	ETNA	Llanura de Inundación	PLANA	44.9	45.1	2g	26.64	19.42	7.43	41.99	2.85	41.43	A
15	E-O	JARDÍN BOTÁNICO	CJABO	CJABO001.EVT	4.6665	-74.0993	ETNA	Terraza Alta	PLANA	43.3	43.5	2g	29.68	16.32	3.98	21.07	1.13	34.98	A
15	V	JARDÍN BOTÁNICO	CJABO	CJABO001.EVT	4.6665	-74.0993	ETNA	Terraza Alta	PLANA	43.3	43.5	2g	15.86	4.43	1.43	27.81	0.43	27.38	A
15	N-S	JARDÍN BOTÁNICO	CJABO	CJABO001.EVT	4.6665	-74.0993	ETNA	Terraza Alta	PLANA	43.3	43.5	2g	35.10	15.58	7.04	15.77	2.17	22.26	A
16	E-O	COLEGIO SAN BARTOLOMÉ	CBART	CBART013.EVT	4.6205	-74.062	ETNA	Coluvión	ONDULADA	36.3	37.7	2g	23.11	12.48	1.83	16.67	0.44	19.45	A
16	V	COLEGIO SAN BARTOLOMÉ	CBART	CBART013.EVT	4.6205	-74.062	ETNA	Coluvión	ONDULADA	36.3	37.7	2g	10.98	12.01	0.97	13.50	0.28	25.37	A
16	N-S	COLEGIO SAN BARTOLOMÉ	CBART	CBART013.EVT	4.6205	-74.062	ETNA	Coluvión	ONDULADA	36.3	37.7	2g	17.96	11.35	1.36	12.91	0.32	12.55	A
17	E-O	U. MANUELA BELTRÁN	CUNMA	CUNMA001.EVT	4.6415	-74.0543	ETNA	Formación Plaeners	ONDULADA	37.1	37.3	2g	47.41	17.48	2.27	18.24	0.50	27.18	A
17	V	U. MANUELA BELTRÁN	CUNMA	CUNMA001.EVT	4.6415	-74.0543	ETNA	Formación Plaeners	ONDULADA	37.1	37.3	2g	15.88	18.06	0.97	25.77	0.27	24.99	A
17	N-S	U. MANUELA BELTRÁN	CUNMA	CUNMA001.EVT	4.6415	-74.0543	ETNA	Formación Plaeners	ONDULADA	37.1	37.3	2g	36.31	17.59	1.58	26.71	0.46	26.02	A

Tabla 4-1. Fuente: DPAE, 2008, editado por el autor

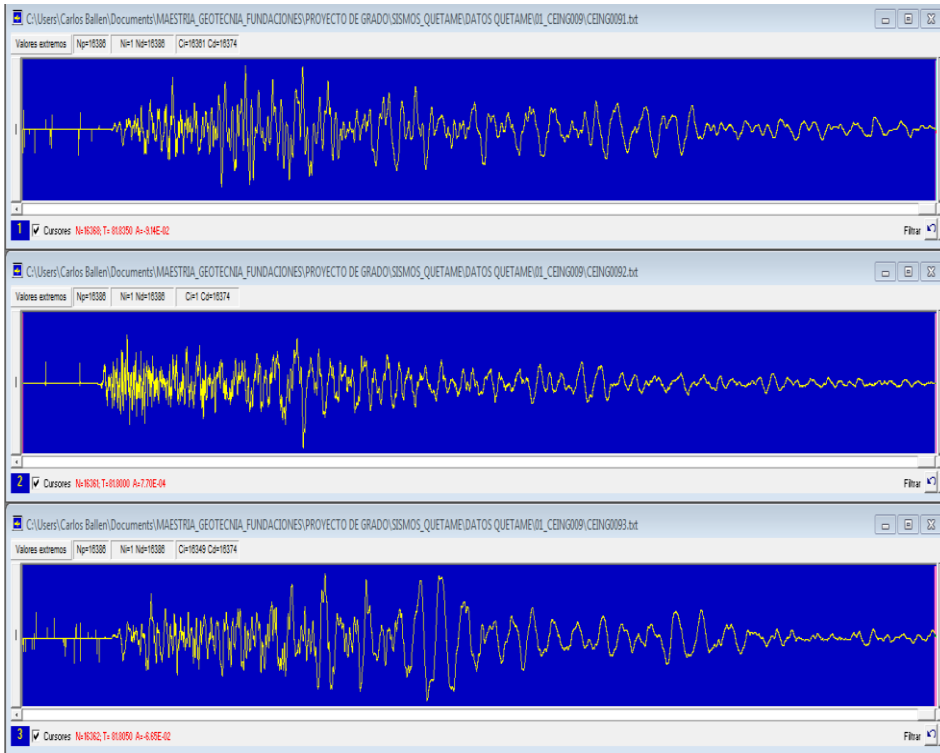
RESUMEN DEL PROCESAMIENTO DE DATOS ELABORADO POR LA DIRECCION DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ D.C.-DPAE-2008																			
#	DIRECCION	ESTACION	CODIGO	ARCHIVO	LATITUD "N	LONGITUD "E	EQUIPO kinematicos	GEOLOGIA	TOPOGRAFIA	EPICENTRO Km	HIPOCENTRO Km	RANGO DE REGISTRO	A _{max} Gal	t s	V _{max} cm/s	t s	D _{max} cm	t s	FILTRO
19	E-O	CITEC	CCITE	CCITE001.EVT	4.6395	-74.1131	ETNA GPS	Terraza Alta	PLANA	42	42.2	2g	20.58	25.69	3.25	25.56	1.01	37.82	A
19	V	CITEC	CCITE	CCITE001.EVT	4.6395	-74.1131	ETNA GPS	Terraza Alta	PLANA	42	42.2	2g	10.10	15.63	1.38	47.23	0.32	36.51	A
19	N-S	CITEC	CCITE	CCITE001.EVT	4.6395	-74.1131	ETNA GPS	Terraza Alta	PLANA	42	42.2	2g	20.52	28.16	3.61	28.38	1.04	33.12	A
20	E-O	CLUB EL TIEMPO	CTIEM	CTIEM001.EVT	4.6943	-74.1558	ETNA	Terraza Alta	PLANA	49.7	49.9	2g	26.76	10.52	5.01	32.30	2.24	32.88	A
20	V	CLUB EL TIEMPO	CTIEM	CTIEM001.EVT	4.6943	-74.1558	ETNA	Terraza Alta	PLANA	49.7	49.9	2g	5.34	13.00	1.03	24.00	0.39	24.43	A
20	N-S	CLUB EL TIEMPO	CTIEM	CTIEM001.EVT	4.6943	-74.1558	ETNA	Terraza Alta	PLANA	49.7	49.9	2g	19.61	13.57	4.51	13.33	1.67	29.75	A
21	E-O	PARQUE TIMIZA	CTIMI	CTIMI001.EVT	4.6084	-74.1511	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	43.6	43.8	2g	15.68	23.00	3.16	41.19	1.12	40.70	A
21	V	PARQUE TIMIZA	CTIMI	CTIMI001.EVT	4.6084	-74.1511	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	43.6	43.8	2g	11.58	11.56	1.29	34.21	0.33	29.88	A
21	N-S	PARQUE TIMIZA	CTIMI	CTIMI001.EVT	4.6084	-74.1511	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	43.6	43.8	2g	14.21	18.52	2.84	29.76	1.26	29.34	A
22	E-O	PARQUE TUNAL	CTUNA	CTUNA003.EVT	4.5753	-74.1313	ETNA	Terraza Baja	PLANA	40	40.2	2g	21.92	18.20	2.51	20.25	0.65	23.51	A
22	V	PARQUE TUNAL	CTUNA	CTUNA003.EVT	4.5753	-74.1313	ETNA	Terraza Baja	PLANA	40	40.2	2g	11.63	16.76	0.95	18.57	0.22	18.81	A
22	N-S	PARQUE TUNAL	CTUNA	CTUNA003.EVT	4.5753	-74.1313	ETNA	Terraza Baja	PLANA	40	40.2	2g	20.09	20.48	2.69	30.50	1.04	20.00	A
24	E-O	BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	CMARIO01.EVT	4.5117	-74.1171	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	35.8	36	2g	42.23	17.66	5.08	16.72	0.85	19.97	A
24	V	BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	CMARIO01.EVT	4.5117	-74.1171	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	35.8	36	2g	26.77	22.53	2.44	22.38	0.51	16.44	A
24	N-S	BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	CMARIO01.EVT	4.5117	-74.1171	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	35.8	36	2g	46.46	16.94	5.50	15.49	1.44	22.83	A
25	E-O	COLEGIO SIERRA MORENA	CSMOR	CSMOR001.EVT	4.5746	-74.1701	ETNA	Coluvi6n	ONDULADA	43.4	43.6	2g	5.59	8.87	0.87	13.99	0.26	14.38	A
25	V	COLEGIO SIERRA MORENA	CSMOR	CSMOR001.EVT	4.5746	-74.1701	ETNA	Coluvi6n	ONDULADA	43.4	43.6	2g	4.25	5.96	0.50	11.27	0.16	11.03	A
25	N-S	COLEGIO SIERRA MORENA	CSMOR	CSMOR001.EVT	4.5746	-74.1701	ETNA	Coluvi6n	ONDULADA	43.4	43.6	2g	8.99	10.63	1.67	10.87	0.38	10.61	A
26	E-O	ESCUELA DE TEJEDORES	CTEJE	CTEJE001.EVT	4.6149	-74.0951	ETNA GPS	Complejo de Conos	PLANA	39.1	39.3	2g	29.16	11.78	6.00	23.46	1.66	23.82	A
26	V	ESCUELA DE TEJEDORES	CTEJE	CTEJE001.EVT	4.6149	-74.0951	ETNA GPS	Complejo de Conos	PLANA	39.1	39.3	2g	12.73	13.24	1.75	18.89	0.42	18.54	A
26	N-S	ESCUELA DE TEJEDORES	CTEJE	CTEJE001.EVT	4.6149	-74.0951	ETNA GPS	Complejo de Conos	PLANA	39.1	39.3	2g	38.54	11.67	3.97	13.49	0.95	17.27	A
27	E-O	TANQUES DE VITELMA	CVITE	CVITE002.EVT	4.575	-74.0716	ETNA	Coluvi6n	ONDULADA	34.5	34.7	2g	25.71	7.63	2.17	12.48	0.39	13.88	A
27	V	TANQUES DE VITELMA	CVITE	CVITE002.EVT	4.575	-74.0716	ETNA	Coluvi6n	ONDULADA	34.5	34.7	2g	10.78	7.62	1.21	9.59	0.28	9.82	A
27	N-S	TANQUES DE VITELMA	CVITE	CVITE002.EVT	4.575	-74.0716	ETNA	Coluvi6n	ONDULADA	34.5	34.7	2g	19.58	10.00	1.55	13.17	0.39	16.06	A
29	E-O	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL010.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	18.81	37.26	3.58	37.40	0.82	42.57	A
29	V	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL010.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	12.94	23.75	1.01	38.51	0.24	38.75	A
29	N-S	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL010.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	15.70	29.30	2.86	29.40	0.94	36.91	A
29	E-O ROCA	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL010.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	6.88	33.75	1.90	44.24	0.65	43.72	A
29	V ROCA	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL010.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	5.45	41.51	0.93	41.27	0.21	40.91	A
29	N-S ROCA	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL010.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	8.61	29.84	1.70	36.05	0.81	38.91	A
30	E-O	COL-KENNEDY	CCKEN	CCKEN001.EVT	4.6459	-74.1715	ETNA	Terraza Baja	PLANA	47.9	48	2g	11.21	13.84	3.36	34.85	1.38	44.02	A
30	V	COL-KENNEDY	CCKEN	CCKEN001.EVT	4.6459	-74.1715	ETNA	Terraza Baja	PLANA	47.9	48	2g	7.77	13.93	1.05	27.80	0.30	44.22	A
30	N-S	COL-KENNEDY	CCKEN	CCKEN001.EVT	4.6459	-74.1715	ETNA	Terraza Baja	PLANA	47.9	48	2g	15.14	16.81	2.65	29.59	0.74	18.69	A
5	E-O	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR025.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	2.04	21.93	0.46	26.71	0.13	28.42	A
5	V	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR025.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	1.98	8.61	0.10	9.97	0.02	5.56	A
5	N-S	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR025.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	2.27	11.02	0.35	27.90	0.13	27.64	A
5	E-O ROCA	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR025.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	0.41	22.70	0.05	23.08	0.02	25.67	A
5	V ROCA	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR025.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	0.53	10.53	0.05	10.61	0.02	14.57	A
5	N-S ROCA	UNIAGRARIA	CUAGR	CUAGR025.EVT	4.7542	-74.0527	K-2	Terraza Alta	PLANA	46.5	46.7	2g	0.39	9.56	0.04	9.52	0.01	8.97	A
16	E-O	COLEGIO SAN BARTOLOMÉ	CBART	CBART014.EVT	4.6205	-74.062	ETNA	Coluvi6n	ONDULADA	36.3	37.7	2g	1.99	3.67	0.12	7.38	0.02	8.10	A
16	V	COLEGIO SAN BARTOLOMÉ	CBART	CBART014.EVT	4.6205	-74.062	ETNA	Coluvi6n	ONDULADA	36.3	37.7	2g	1.36	1.13	0.10	5.81	0.02	5.08	A
16	N-S	COLEGIO SAN BARTOLOMÉ	CBART	CBART014.EVT	4.6205	-74.062	ETNA	Coluvi6n	ONDULADA	36.3	37.7	2g	2.26	4.24	0.11	5.47	0.02	5.06	A
24	E-O	BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	CMARIO02.EVT	4.5117	-74.1171	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	35.8	36	2g	10.34	10.69	0.53	19.48	0.08	18.99	A
24	V	BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	CMARIO02.EVT	4.5117	-74.1171	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	35.8	36	2g	10.62	9.17	0.32	8.97	0.05	17.08	A
24	N-S	BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	CMARIO02.EVT	4.5117	-74.1171	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	35.8	36	2g	9.28	15.08	0.70	14.88	0.09	15.08	A
24	E-O	BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	CMARIO03.EVT	4.5117	-74.1171	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	35.8	36	2g	5.94	11.36	0.22	20.91	0.02	18.16	A
24	V	BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	CMARIO03.EVT	4.5117	-74.1171	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	35.8	36	2g	10.33	10.38	0.22	10.41	0.02	18.41	A
24	N-S	BOMBEROS MARICHUELA	CMARI	CMARIO03.EVT	4.5117	-74.1171	ETNA	Complejo de Conos	PLANA	35.8	36	2g	5.06	10.94	0.37	16.35	0.03	16.45	A
29	E-O	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL011.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	0.75	22.18	0.07	27.00	0.01	26.81	A
29	V	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL011.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	1.33	16.36	0.04	12.87	0.01	24.08	A
29	N-S	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL011.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	0.88	20.24	0.07	25.61	0.01	20.22	A
29	E-O ROCA	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL011.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	0.42	22.46	0.03	22.53	0.01	37.00	A
29	V ROCA	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL011.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	0.33	12.98	0.02	34.10	0.00	33.88	A
29	N-S ROCA	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	CGRAL011.EVT	4.5881	-74.1301	K - 2	Complejo de Conos	PLANA	40.6	40.8	2g	0.42	20.55	0.03	20.62	0.01	27.66	A

Tabla 4-2. Fuente: DPAE, 2008, editado por el autor

**ANALISIS DE LOS ACELEROGRAMAS DEL SISMO DE QUETAME,
REGISTRADOS POR LA R.A.B. ESTACION ESCUELA DE INGENIERIA-CEING-
LACUSTRE 150, H=110m Av. 13 N°205-59**



Fuente: Autor, ACELEROGRAMA ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (1), V (2) Y NS (3)
CON CORRECCION DE LINEA BASE



Fuente: Autor, ACELEROGRAMA ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (1), V (2) Y NS (3),
CON FILTRO PASABANDA DE ORDEN 6 (0.25 A 0.50Hz)

INTENSIDAD DE ARIAS O INTENSIDAD SISMICA INSTRUMENTAL

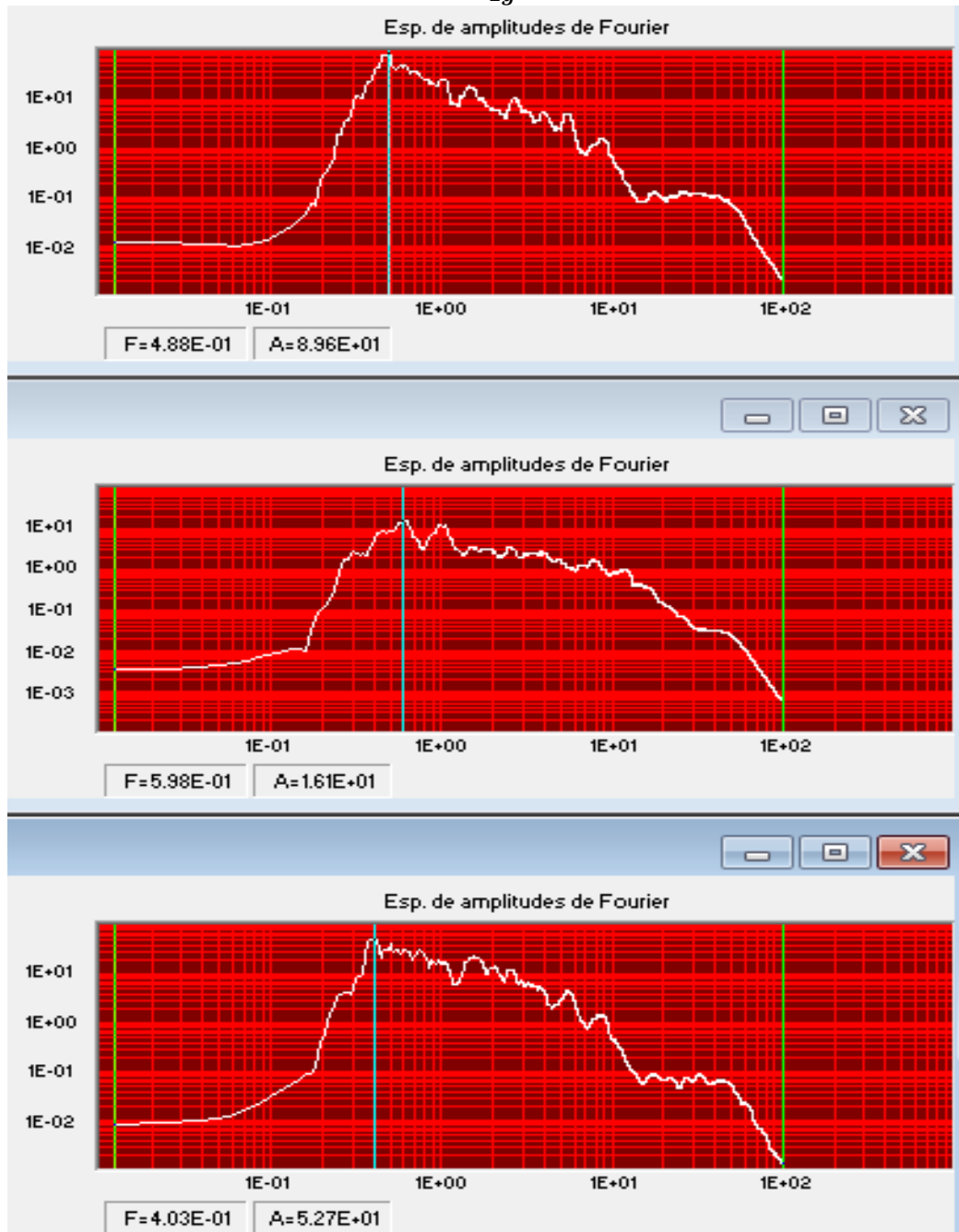


Fuente: El autor, ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V(medio) Y NS (sup),

CALCULO DE INTENSIDAD DE ARIAS

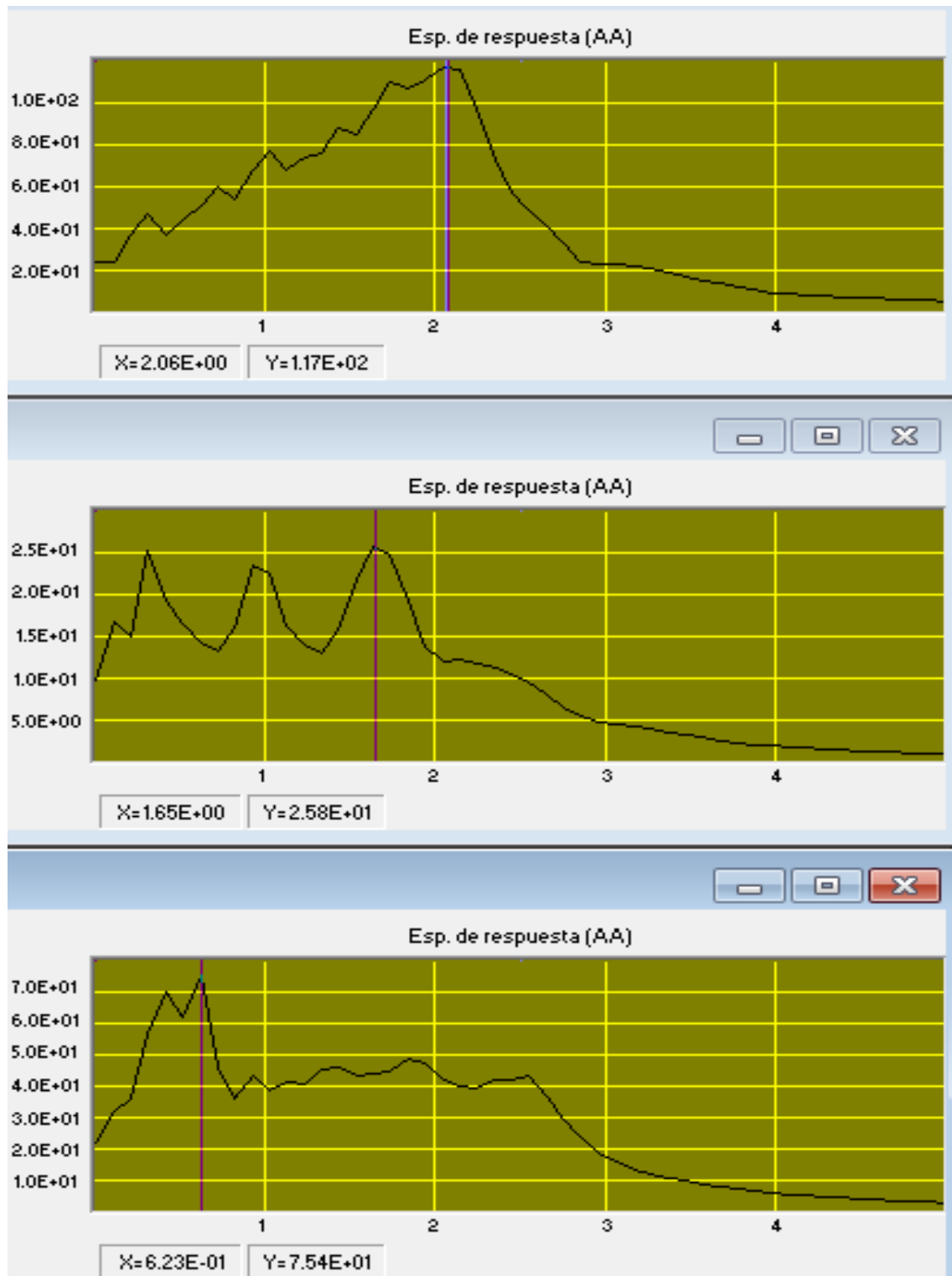
SEÑAL	INTENSIDAD	DURACION	PTO INICIAL	PTO FINAL
EO	3.02E+03	4.46E+01	2828	11755
V	2.07E+02	4.31E+01	1873	10490
NS	1.92E+03	4.57E+01	2685	11826

La intensidad de Arias debe multiplicarse por $\frac{\pi}{2g}$ para obtener el valor.

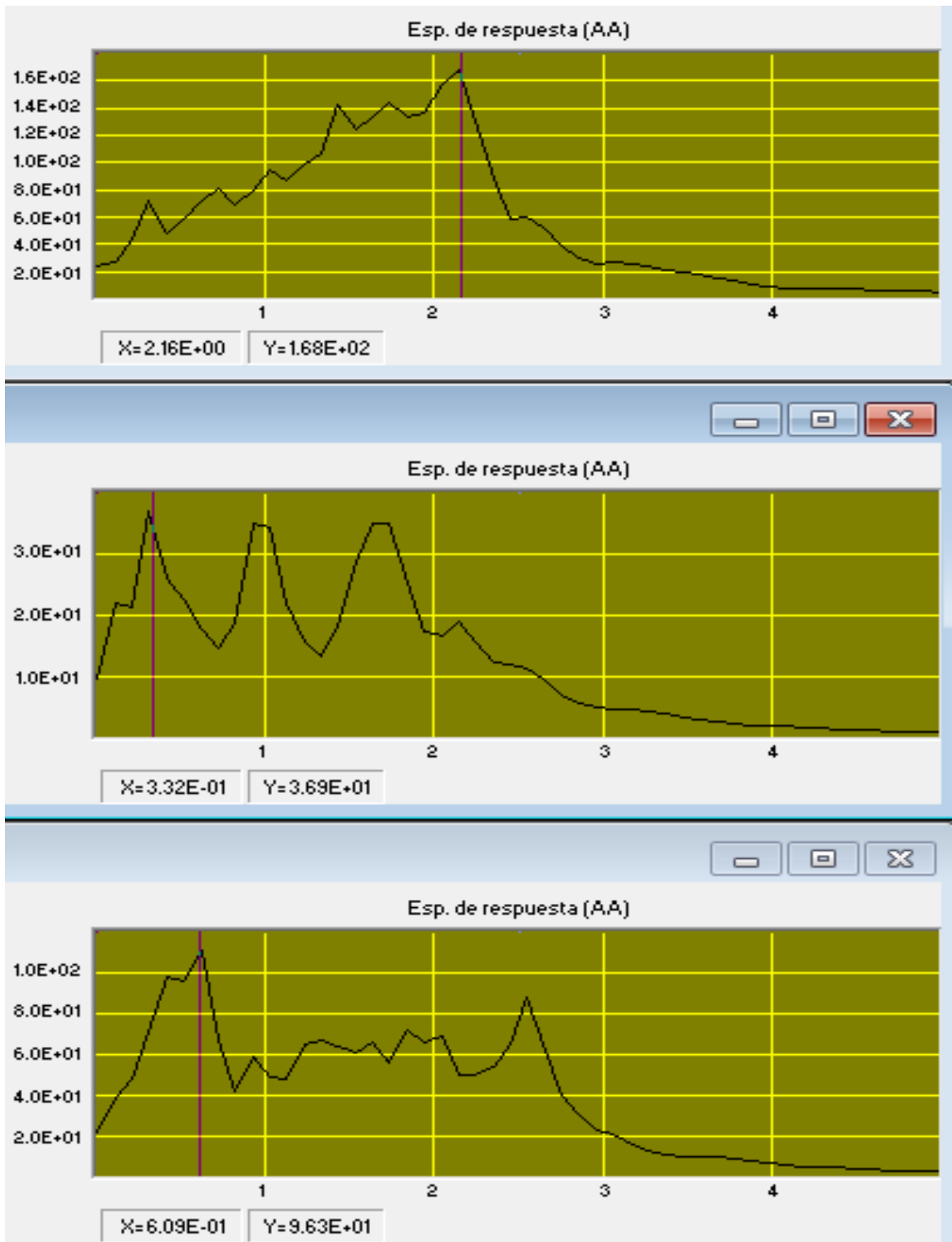


Fuente: Autor, ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup)

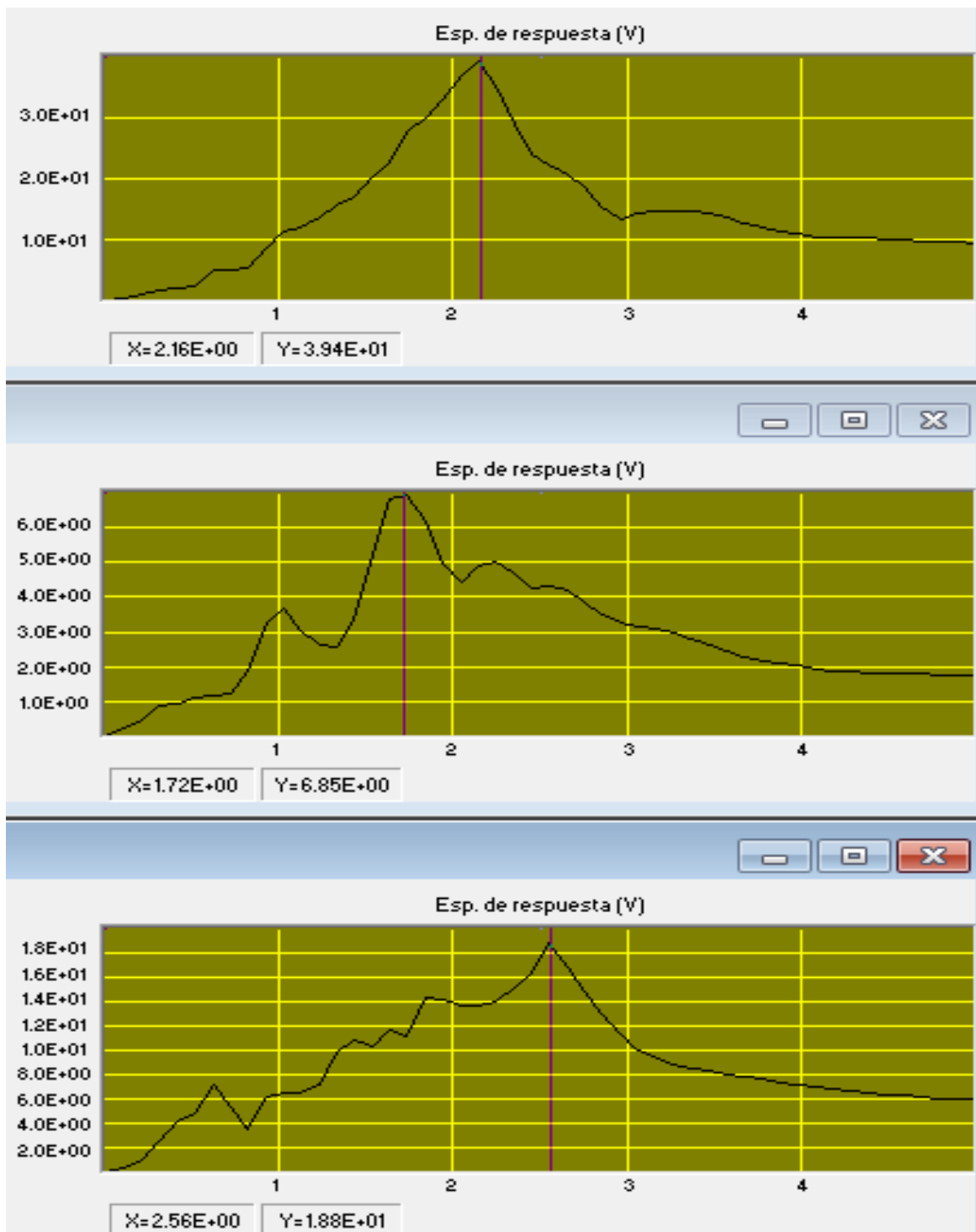
SEÑAL	F _{MIN}	F _{MAX}	ENERGIA
EO	1.22E-02	1.00E+02	1.92E+03
V	1.22E-02	1.00E+02	2.08E+02
NS	1.22E-02	1.00E+02	3.02E+03



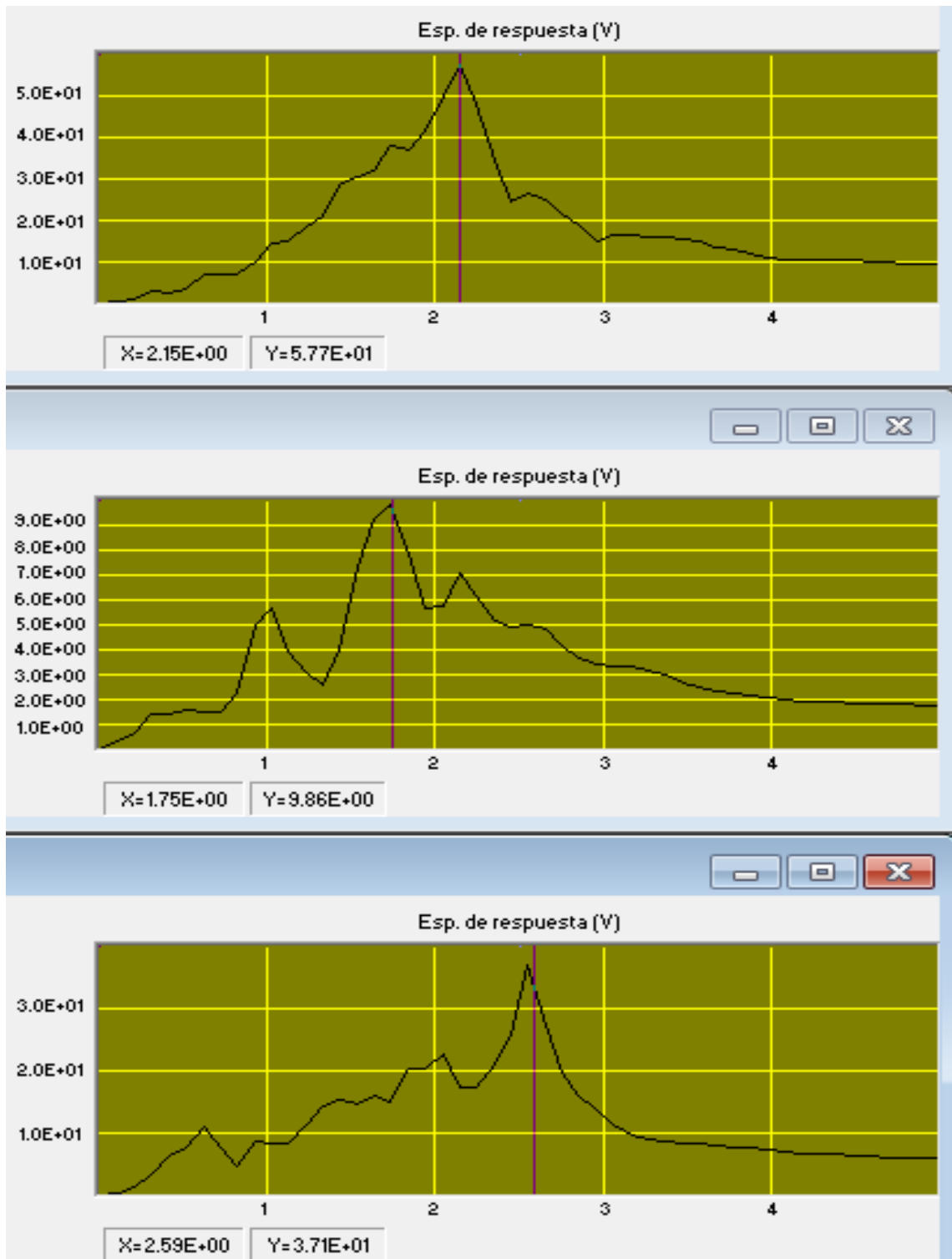
ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO DE RESPUESTA ACELERACION ABSOLUTA, $\xi = 5\%$



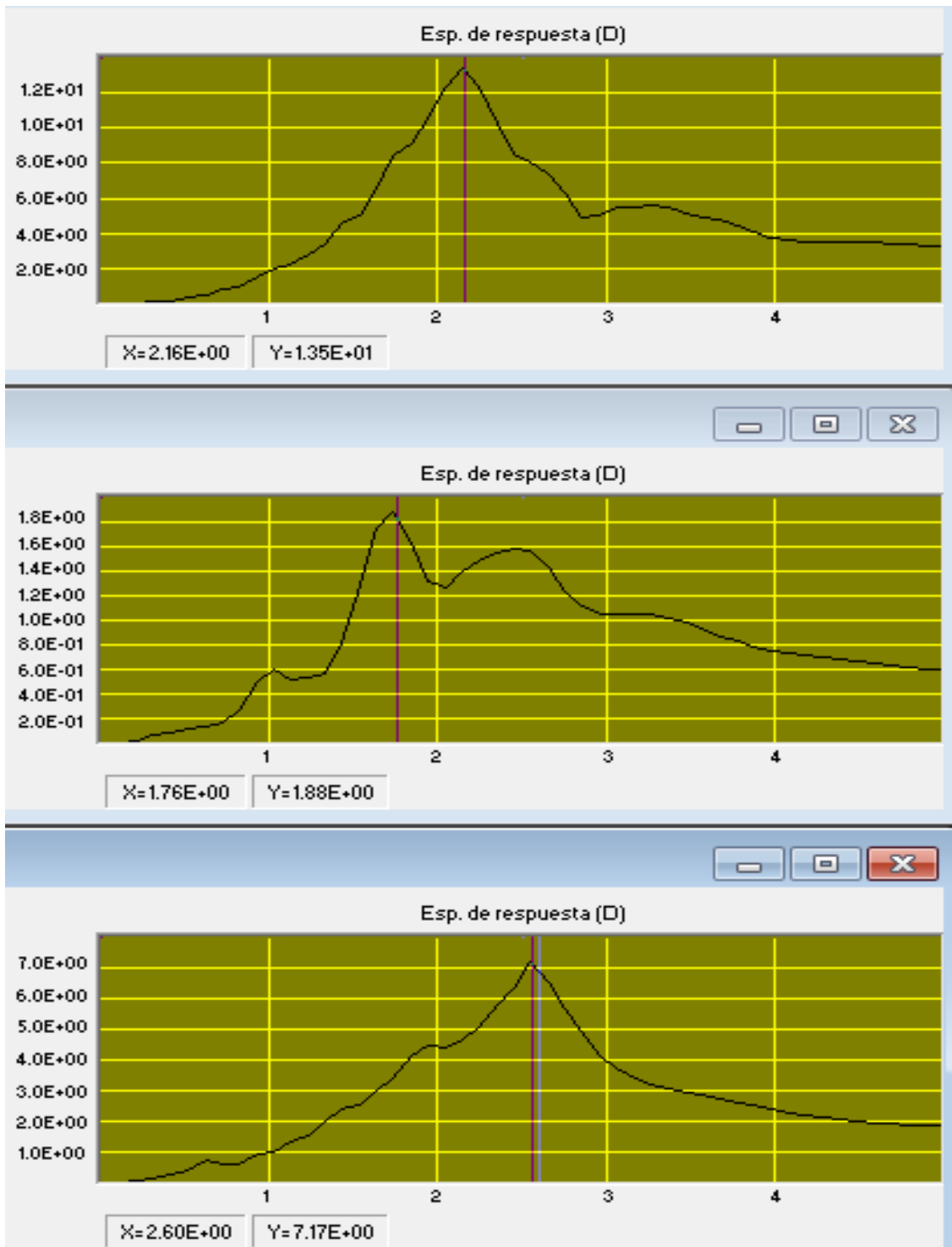
ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO DE RESPUESTA ACELERACION ABSOLUTA, $\xi = 2\%$



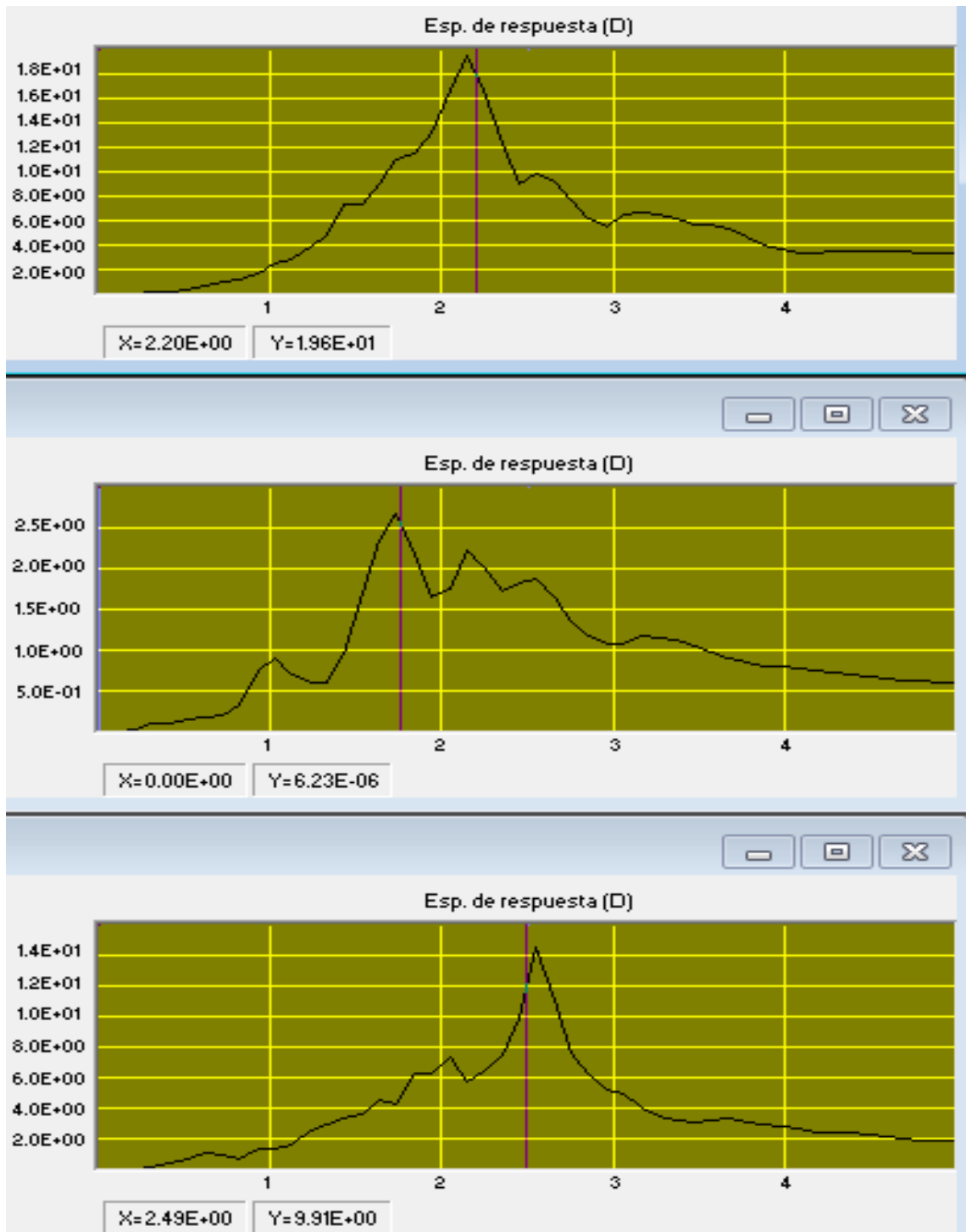
ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, $\xi = 5\%$



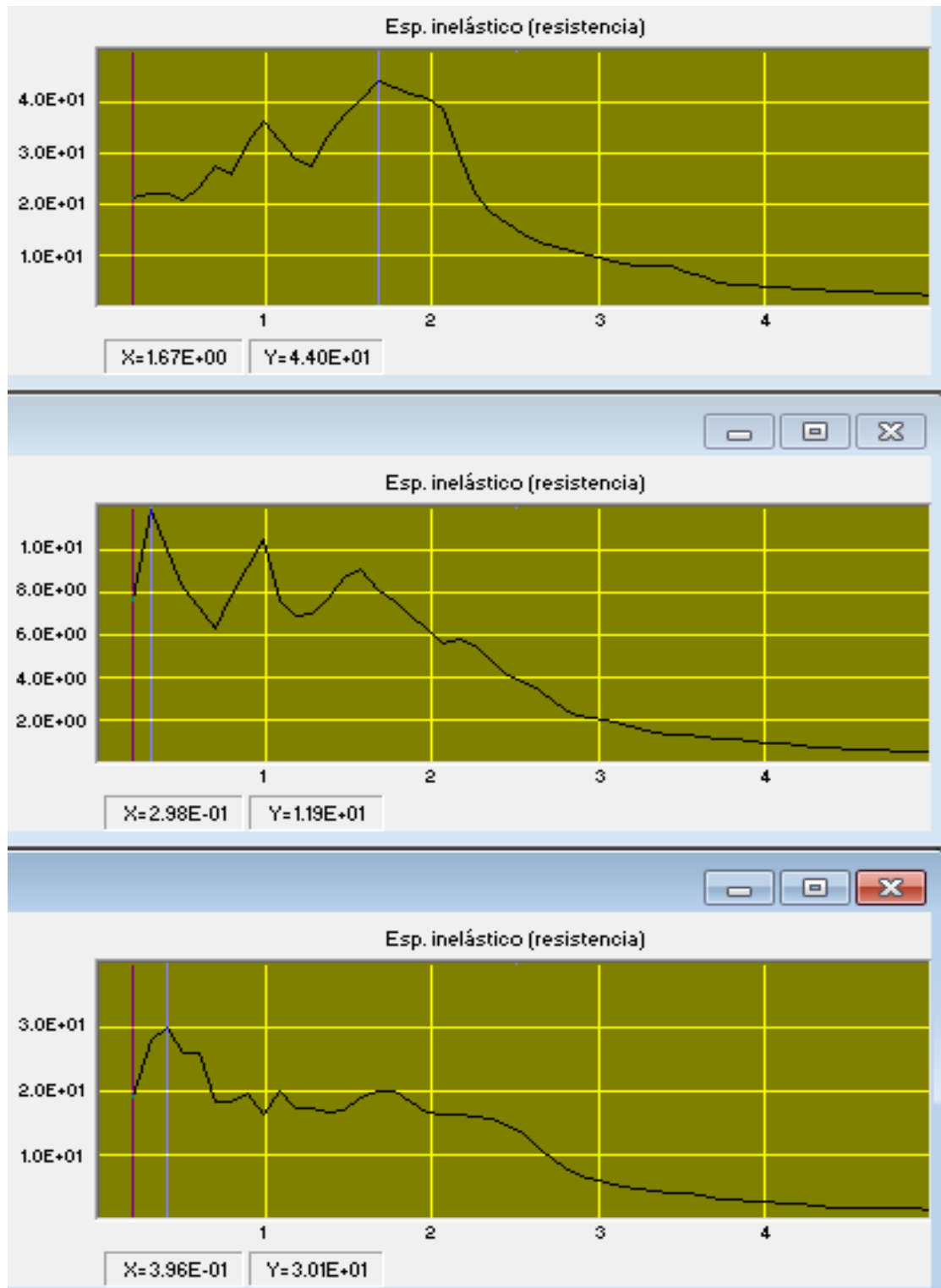
ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, $\xi = 2\%$



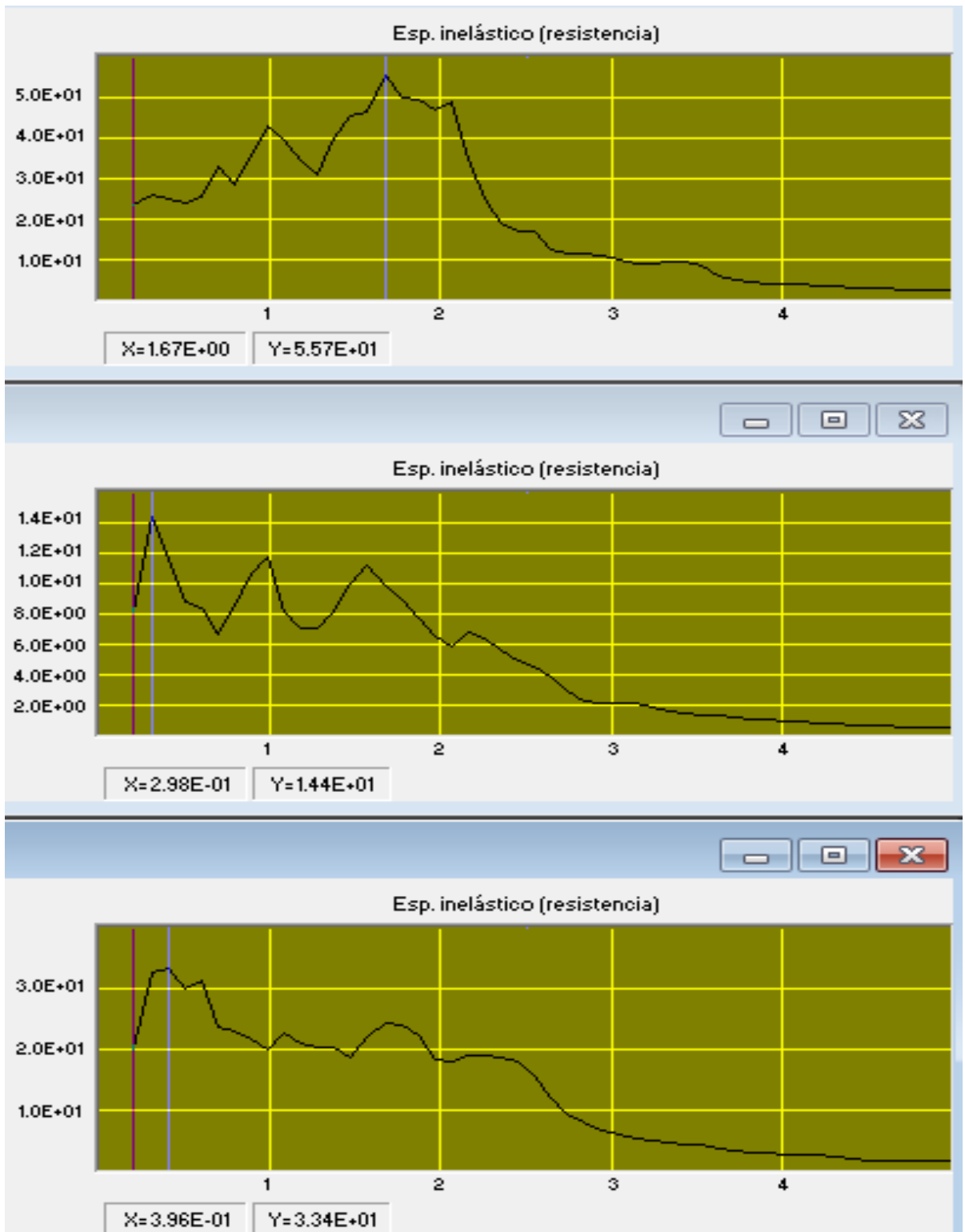
ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO DE RESPUESTA DESPLAZAMIENTO, $\xi = 5\%$



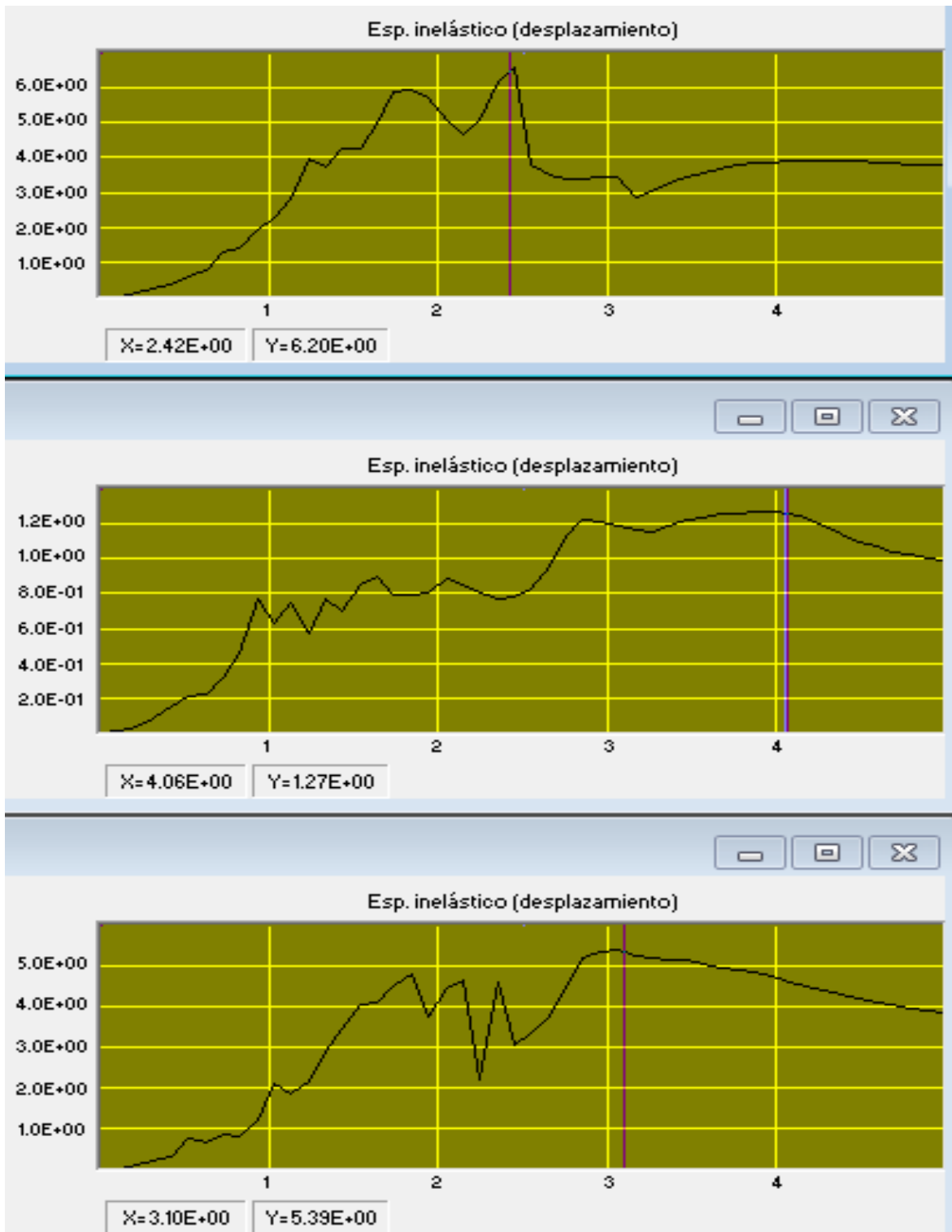
ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO DE RESPUESTA DESPLAZAMIENTO, $\xi = 2\%$



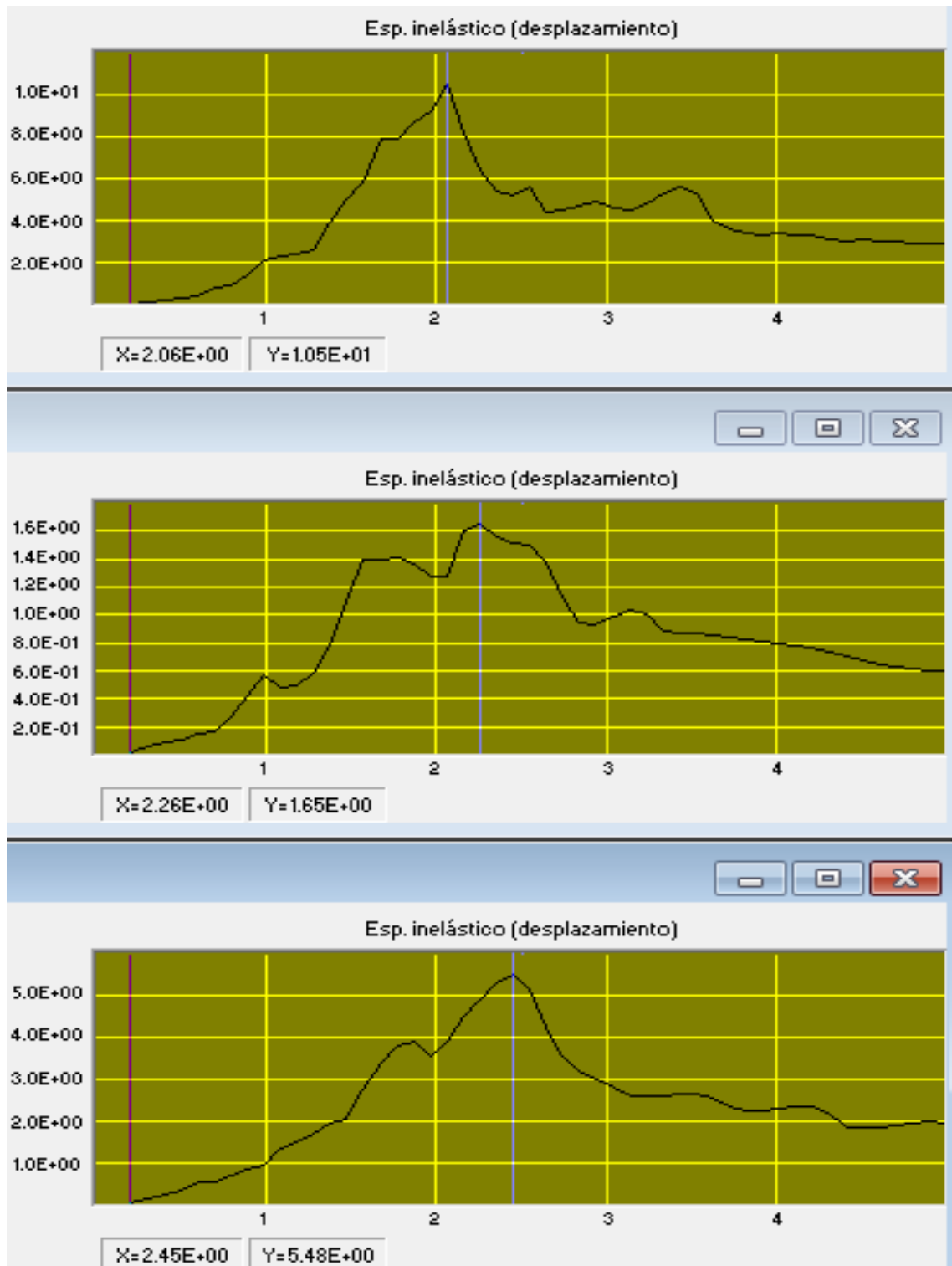
ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO INELASTICO DE RESISTENCIA, $\xi = 5\%$



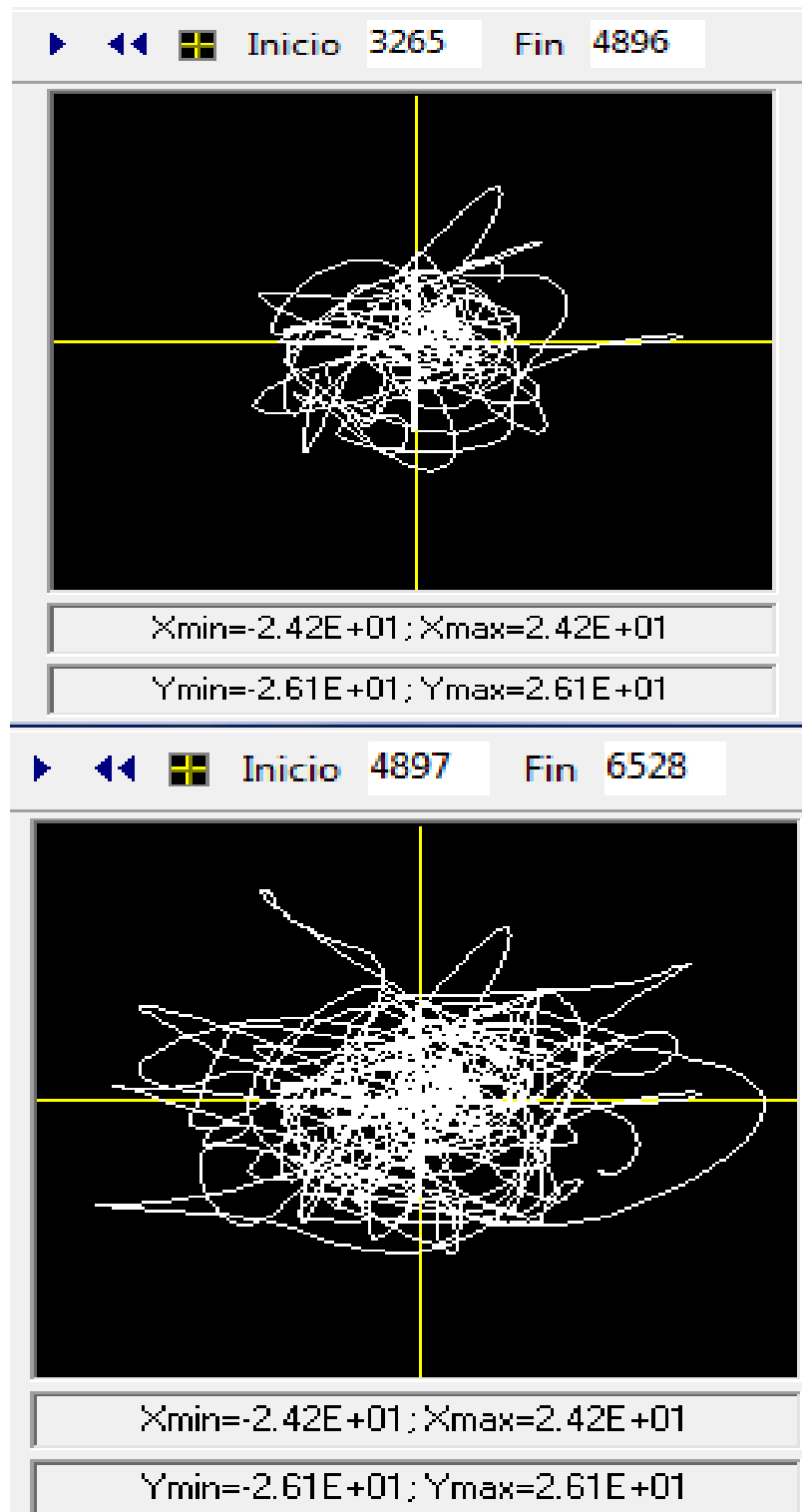
ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO INELASTICO DE RESISTENCIA, $\xi = 2\%$



ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, $\xi = 5\%$

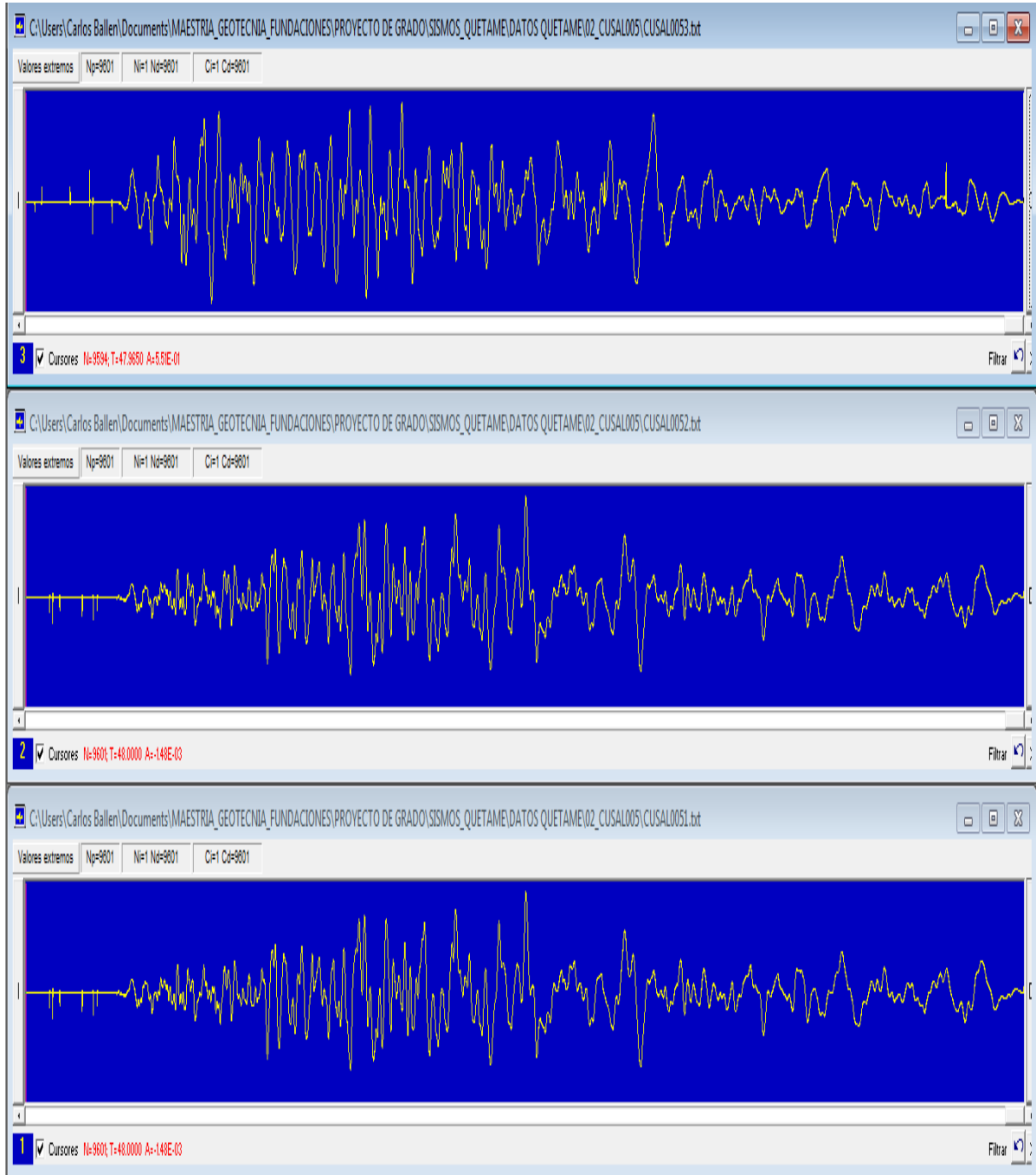


ESTACION CEING, SISMO QUETAME 2008, EO (inf), V (medio) Y NS (sup),
 ESPECTRO INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, $\xi = 2\%$



ESTACION CEING, ODOGRAMA SISMO QUETAME 2008

ESTACION UNIVERSIDAD DE LA SALLE-CUSAL-PIEDEMONTA, H=30.00m Cra 7
N°172-85

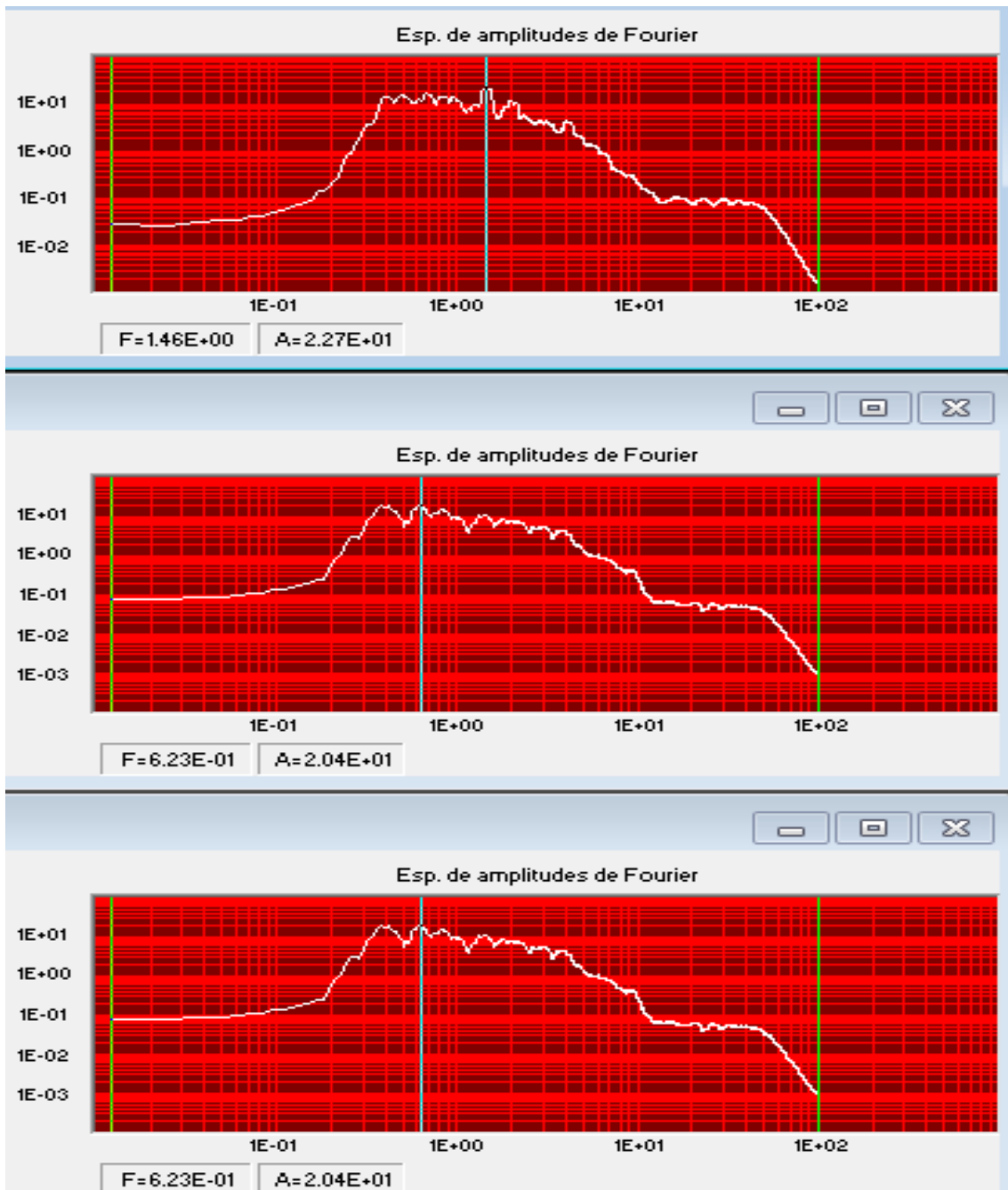


ACELEROGRAMA ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (1), V (2) Y NS (3) CON CORRECCION DE LINEA BASE Y FILTRO PASABANDA



INTENSIDAD DE ARIAS, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)

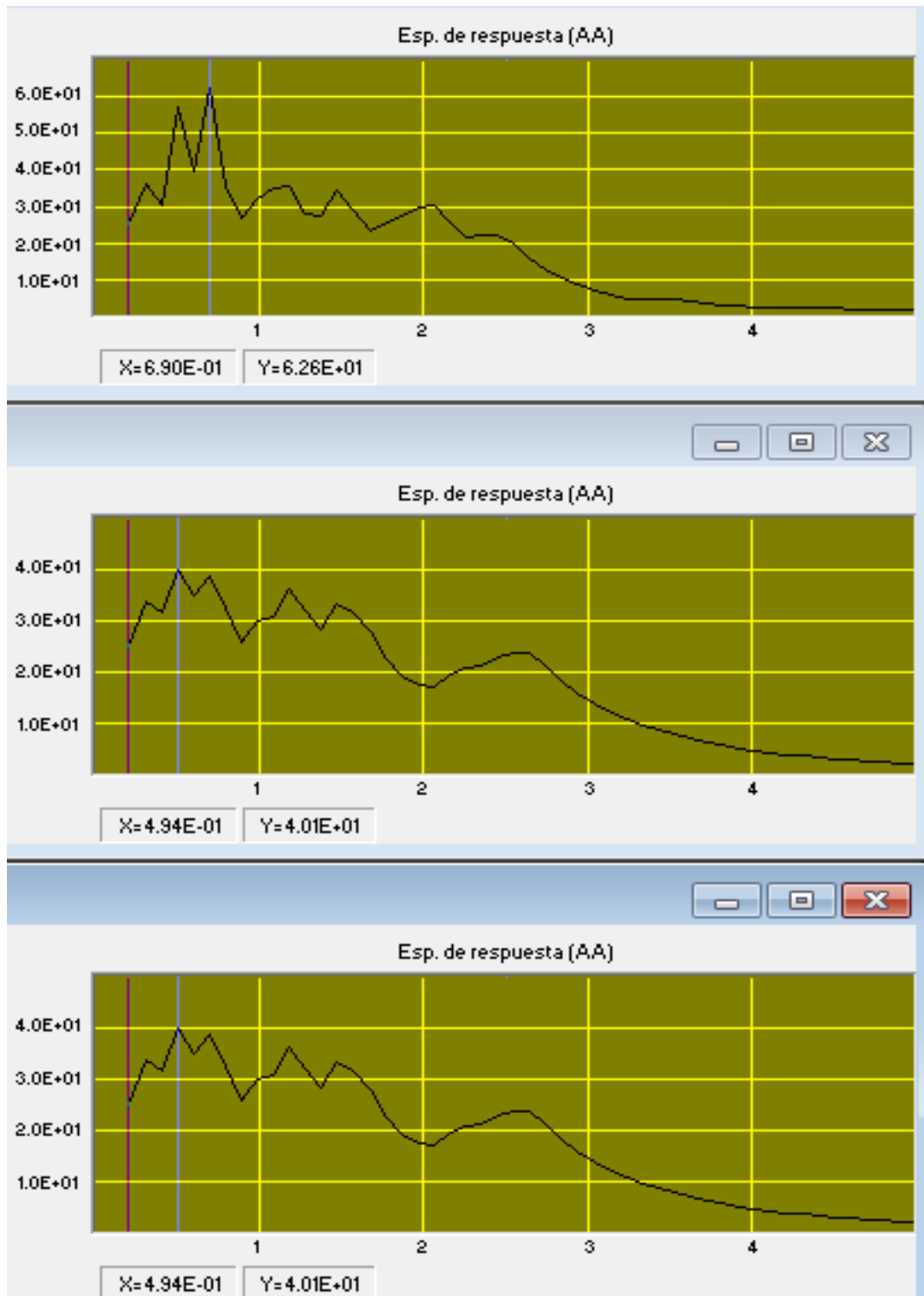
SEÑAL	INTENSIDAD	DURACION	PTO INICIAL	PTO FINAL
EO	5.38E+02	2.87E+01	2236	8037
V	5.38E+02	2.86E+01	2326	8037
NS	6.87E+02	2.86E+01	1543	7287
<i>La intensidad debe multiplicarse por $\pi/2g$</i>				



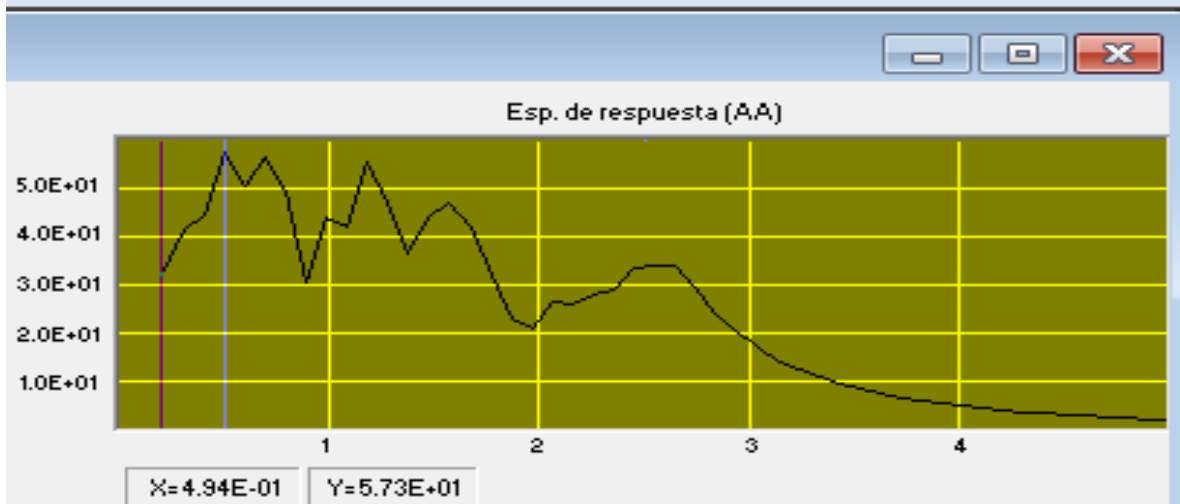
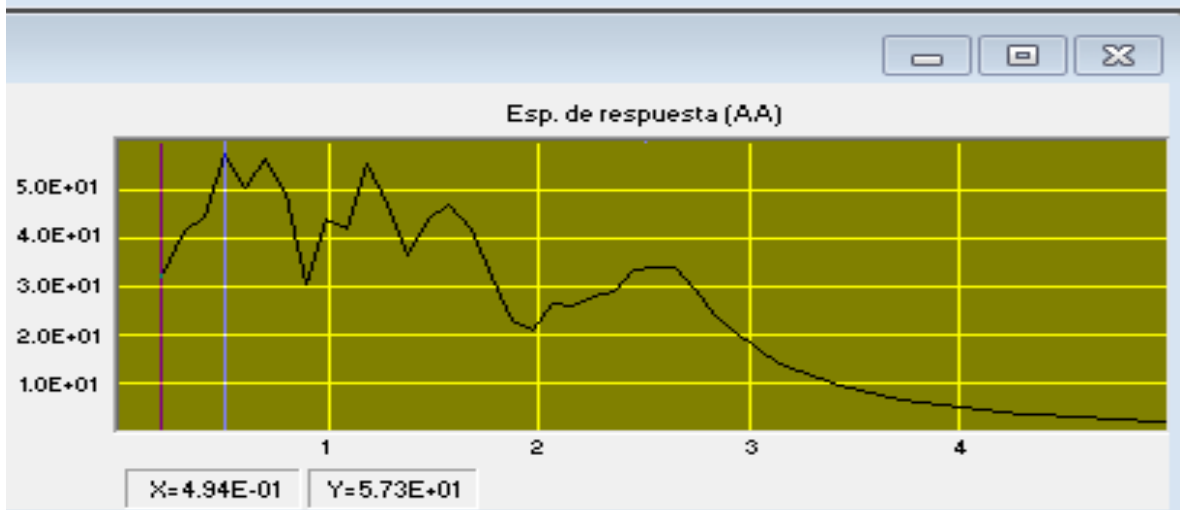
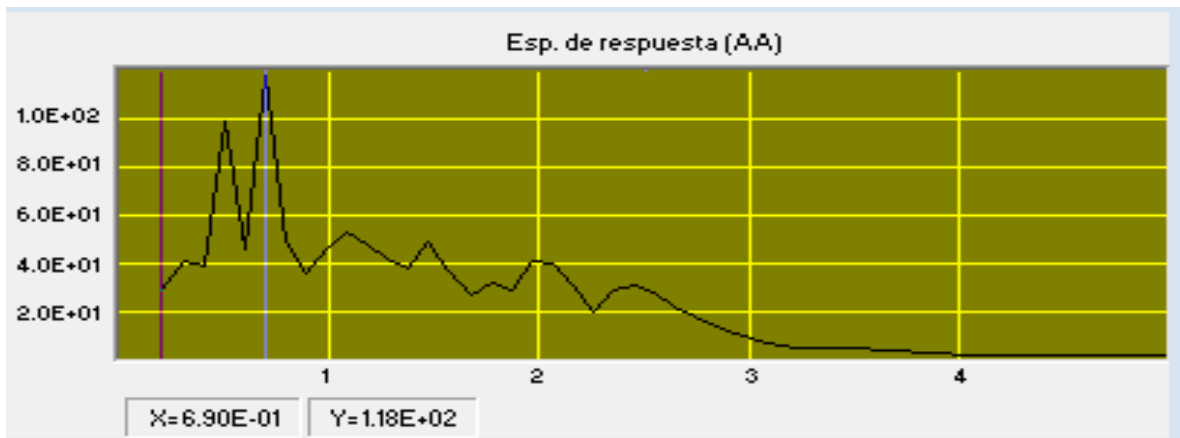
ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)

SEÑAL	F_{MIN}	F_{MAX}	ENERGIA
EO	1.22E-02	1.00E+02	5.37E+02
V	1.22E-02	1.00E+02	5.37E+02
NS	1.22E-02	1.00E+02	6.87E+02

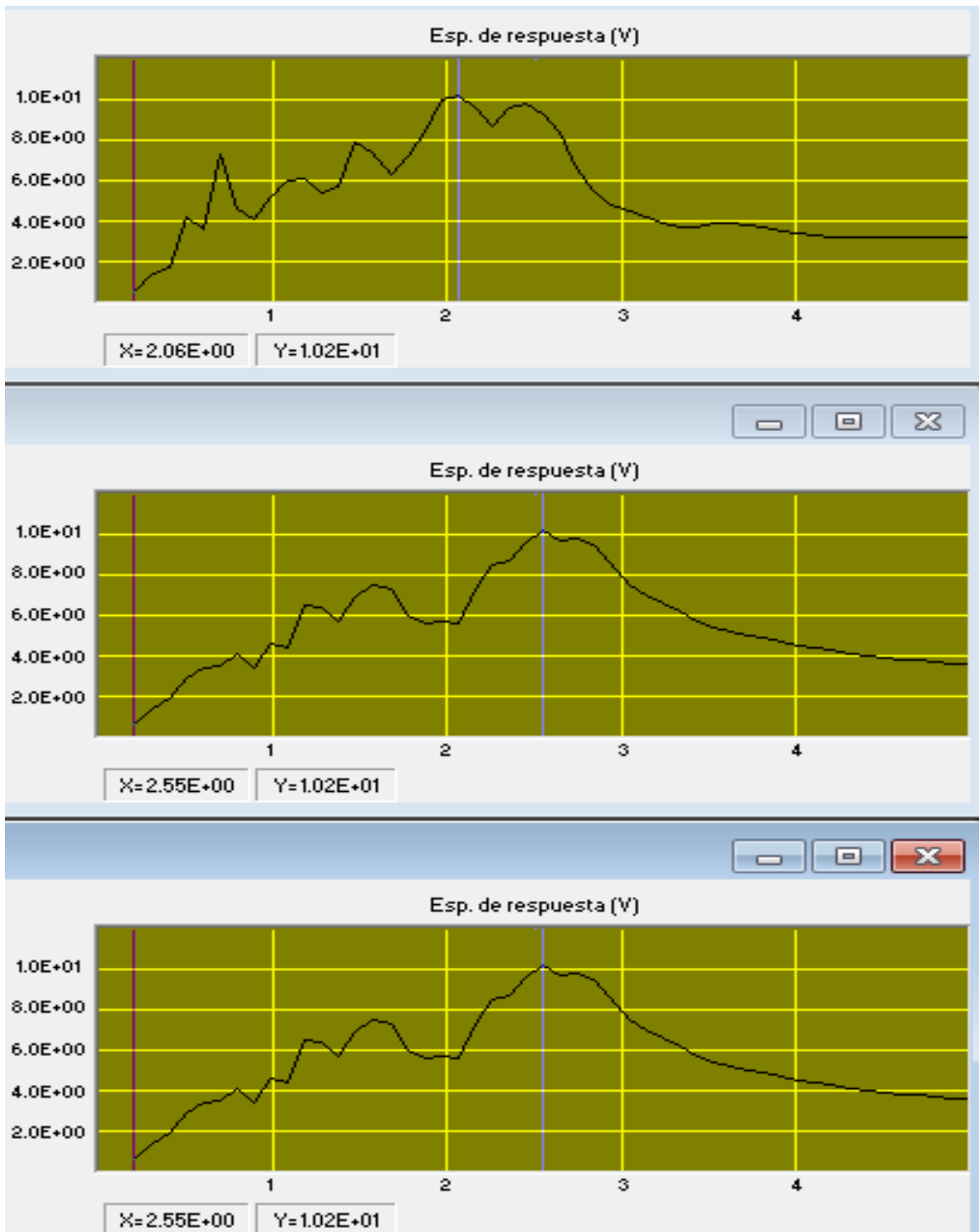
Es energia (por unidad de masa), solo cuando el espectro es de velocidad



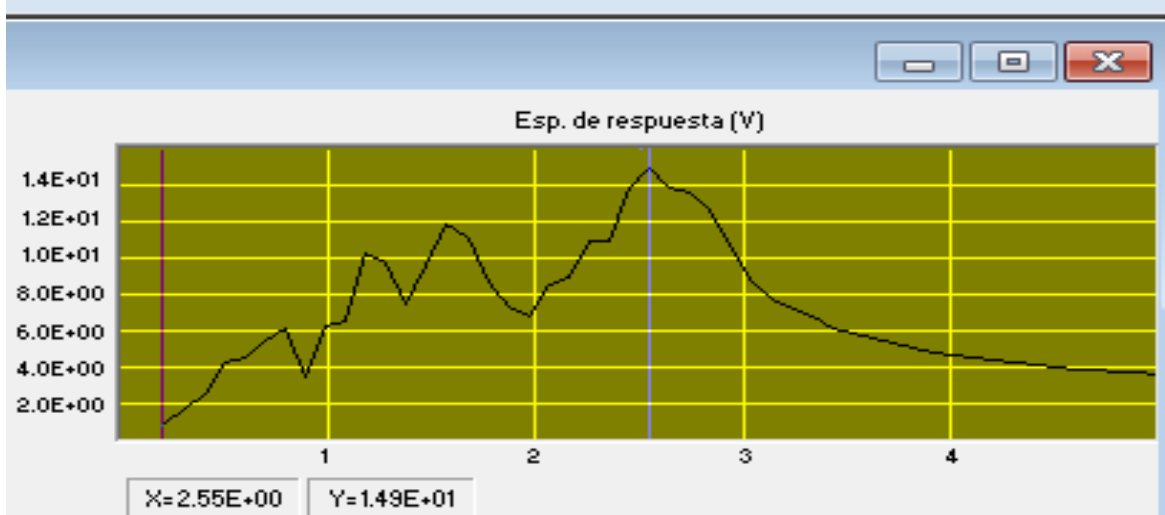
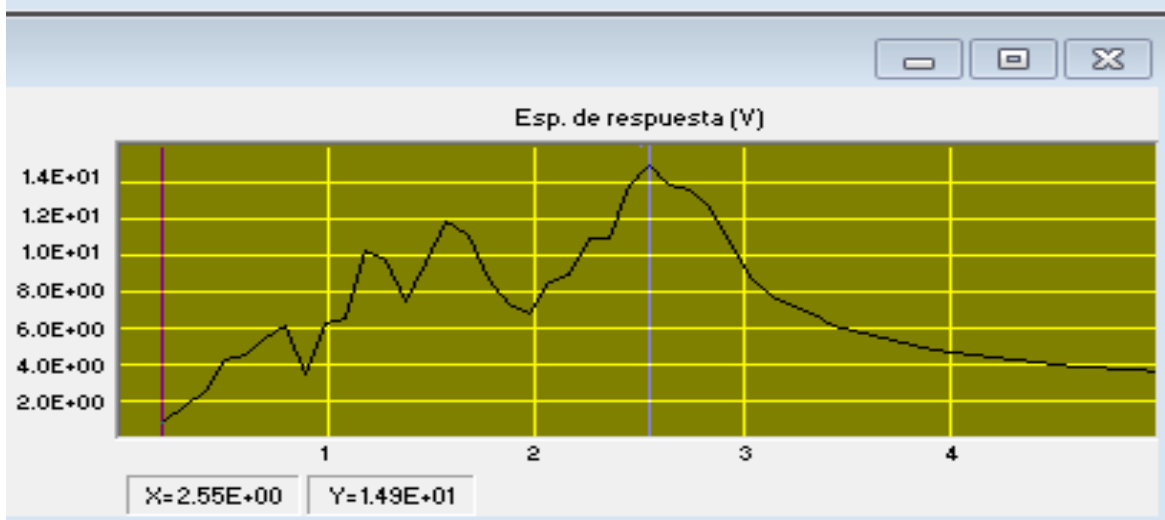
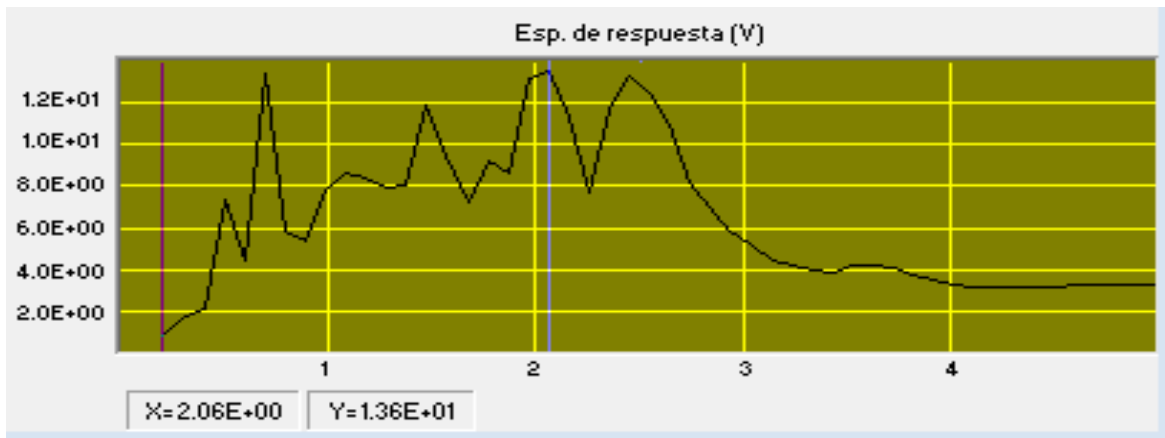
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



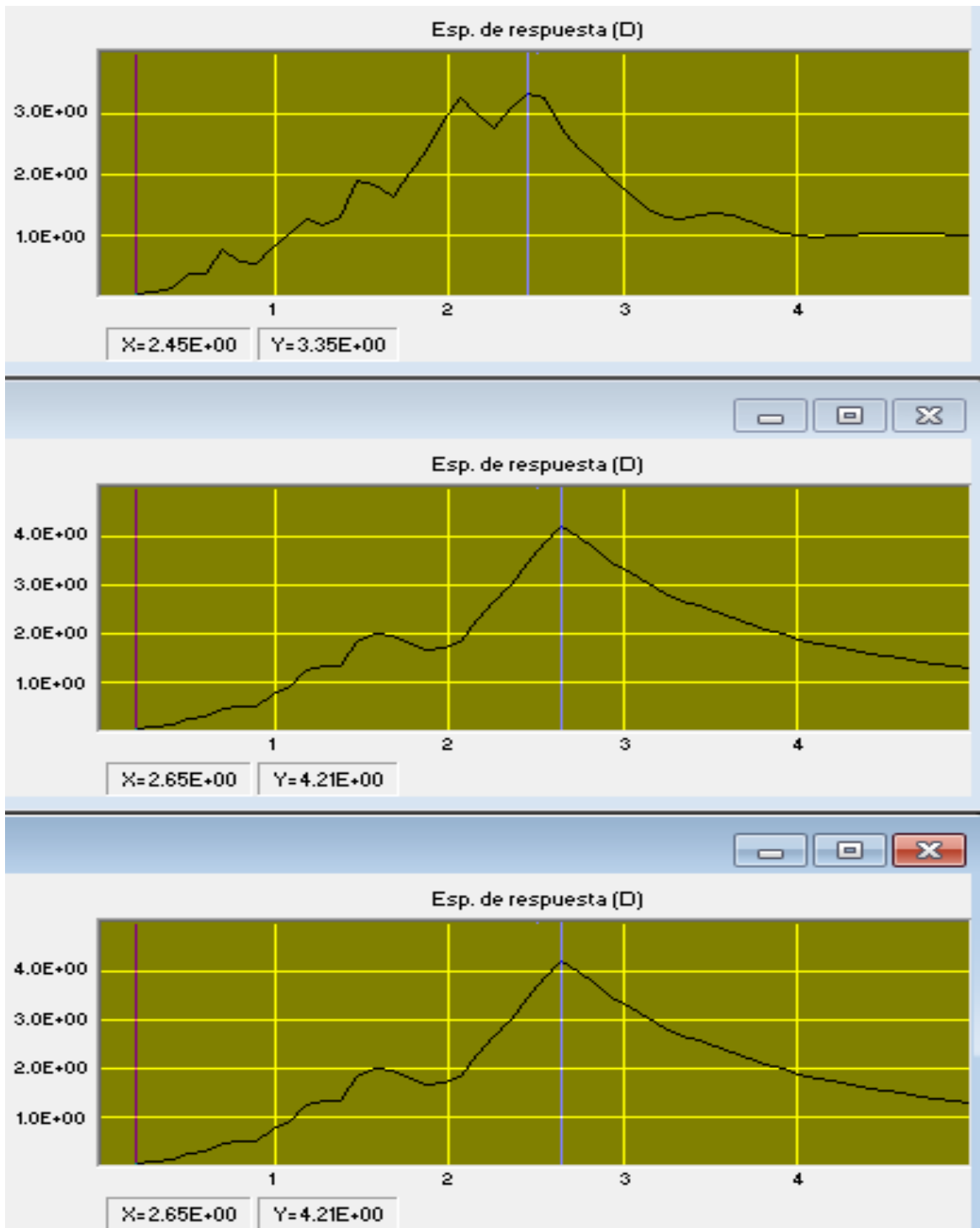
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



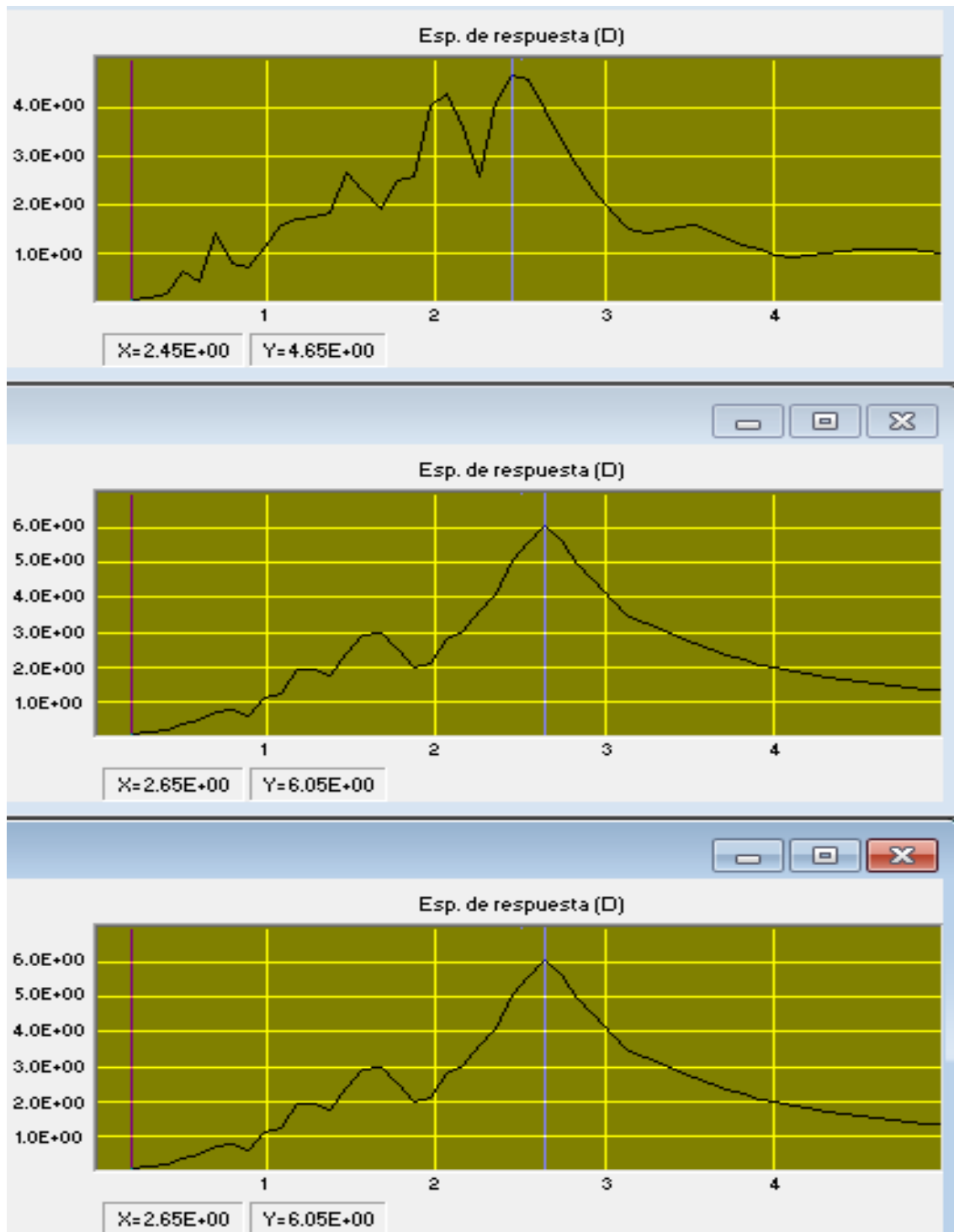
ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



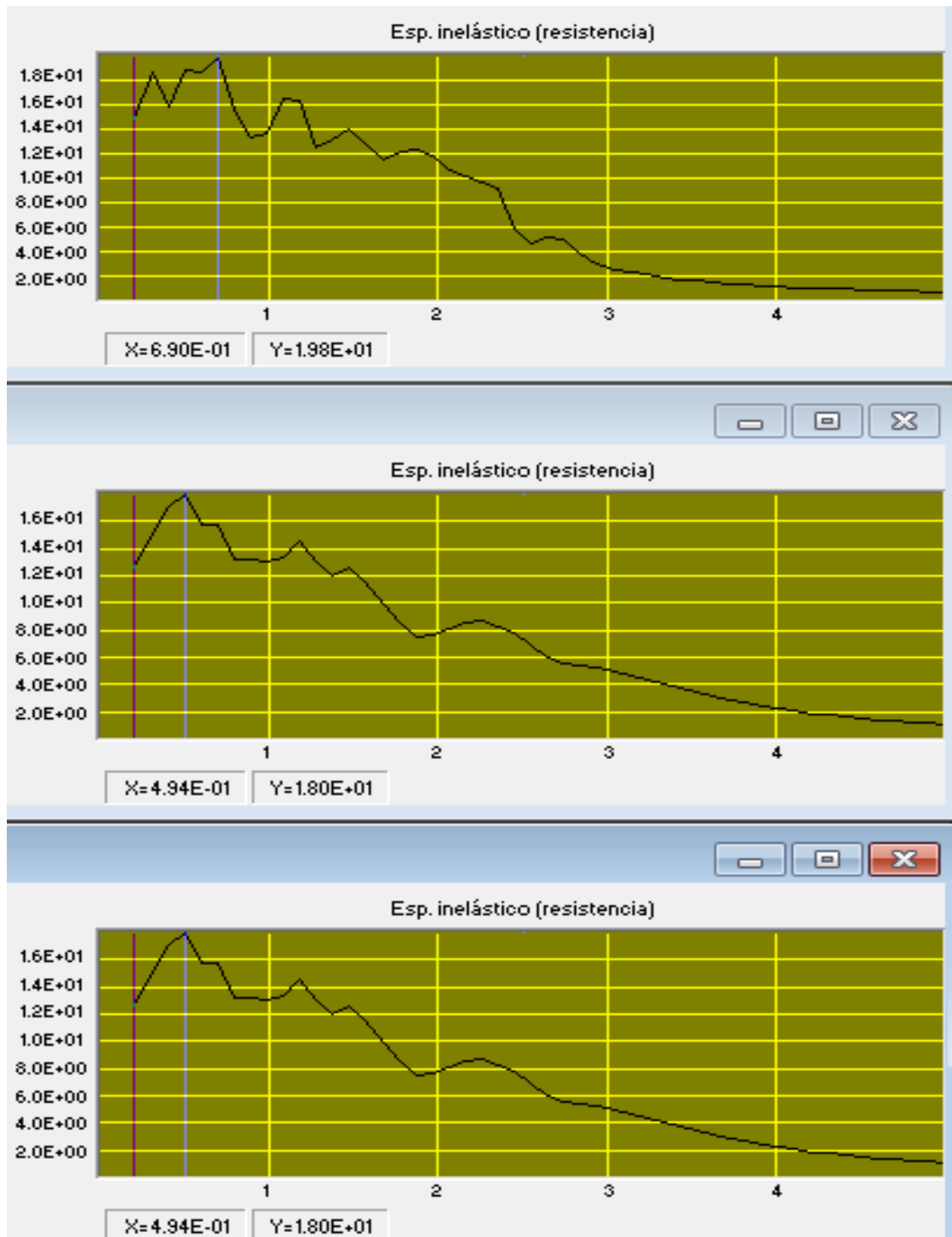
ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



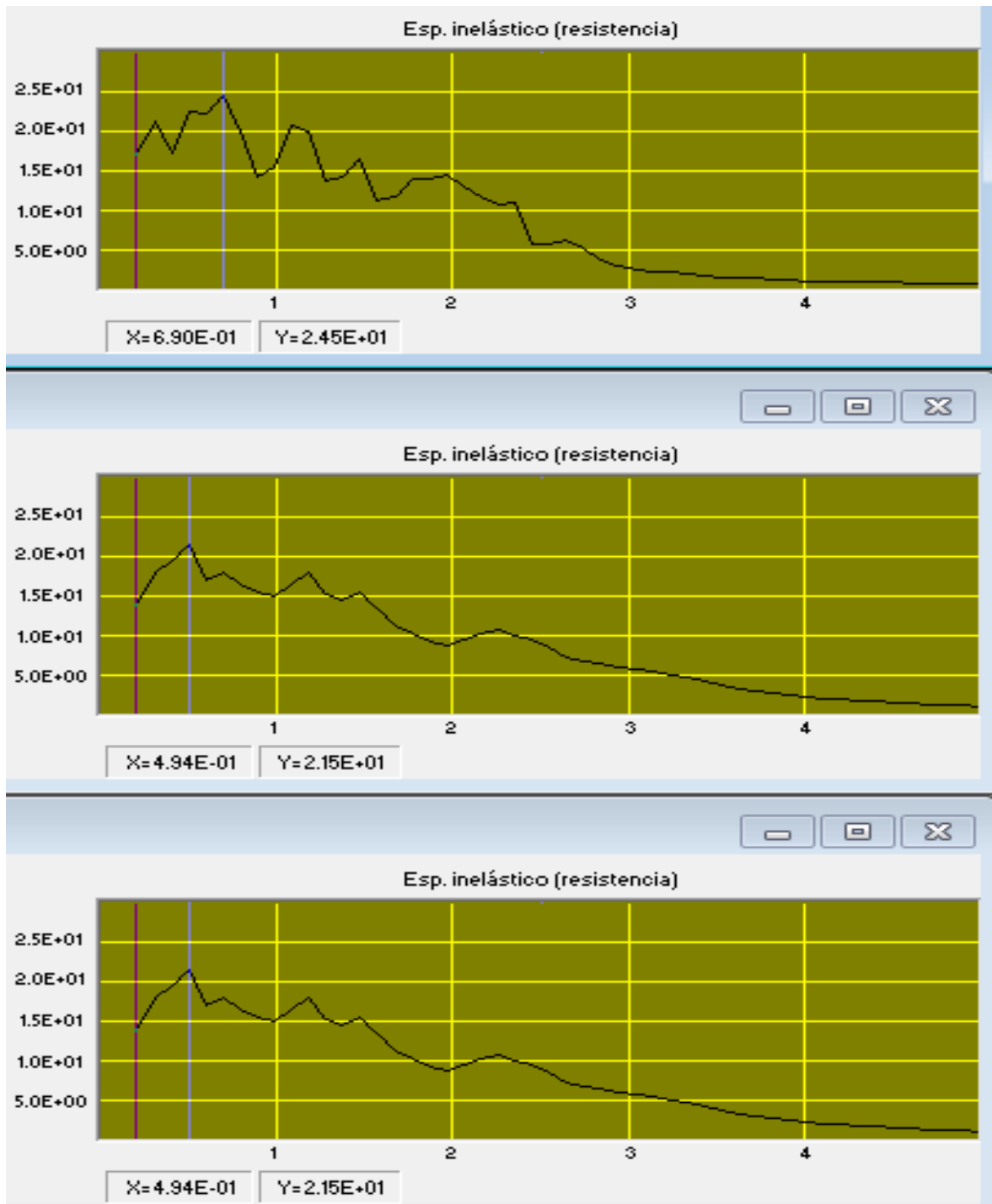
ESPECTRO DE RESPUESTA DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



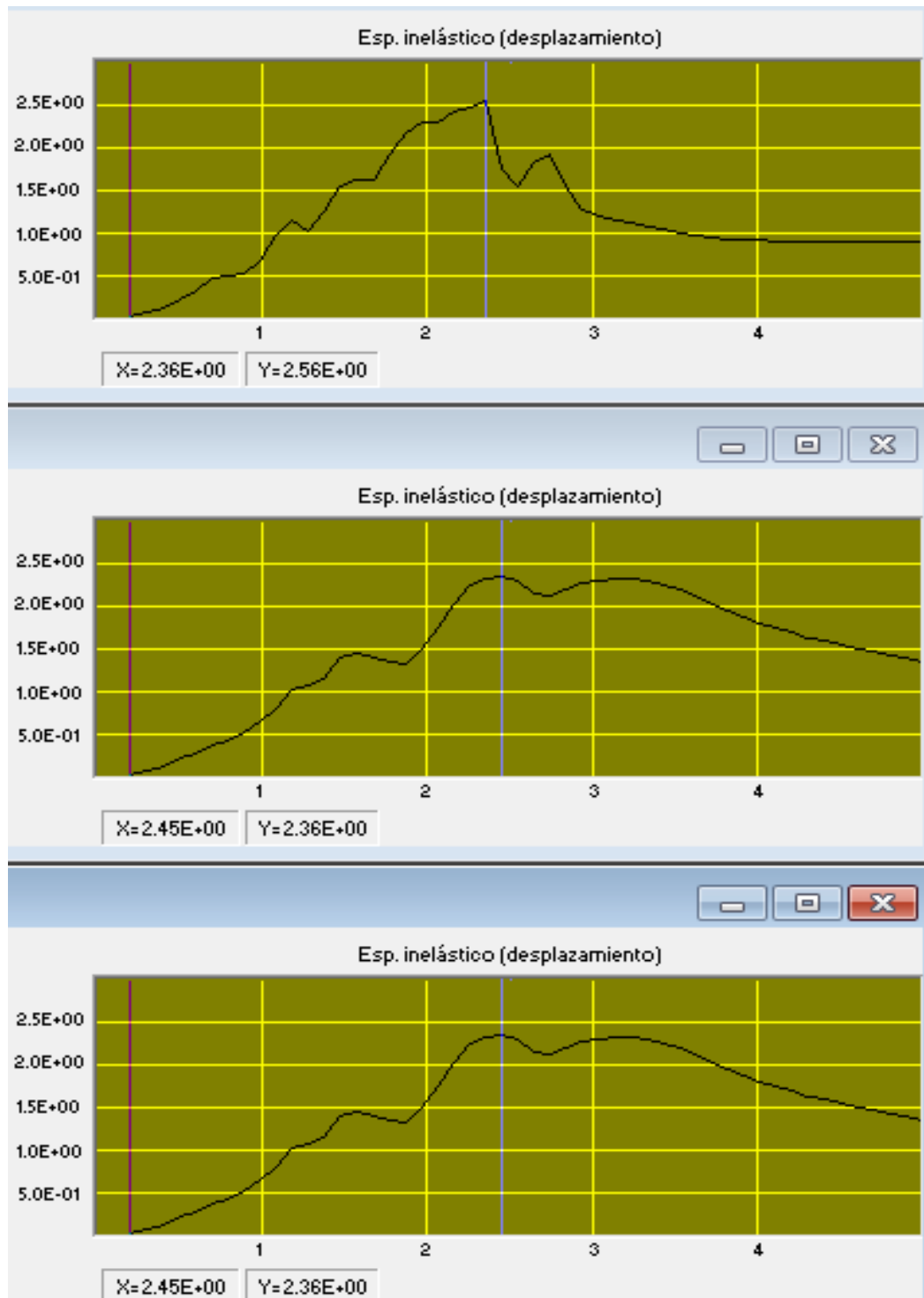
ESPECTRO DE RESPUESTA DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



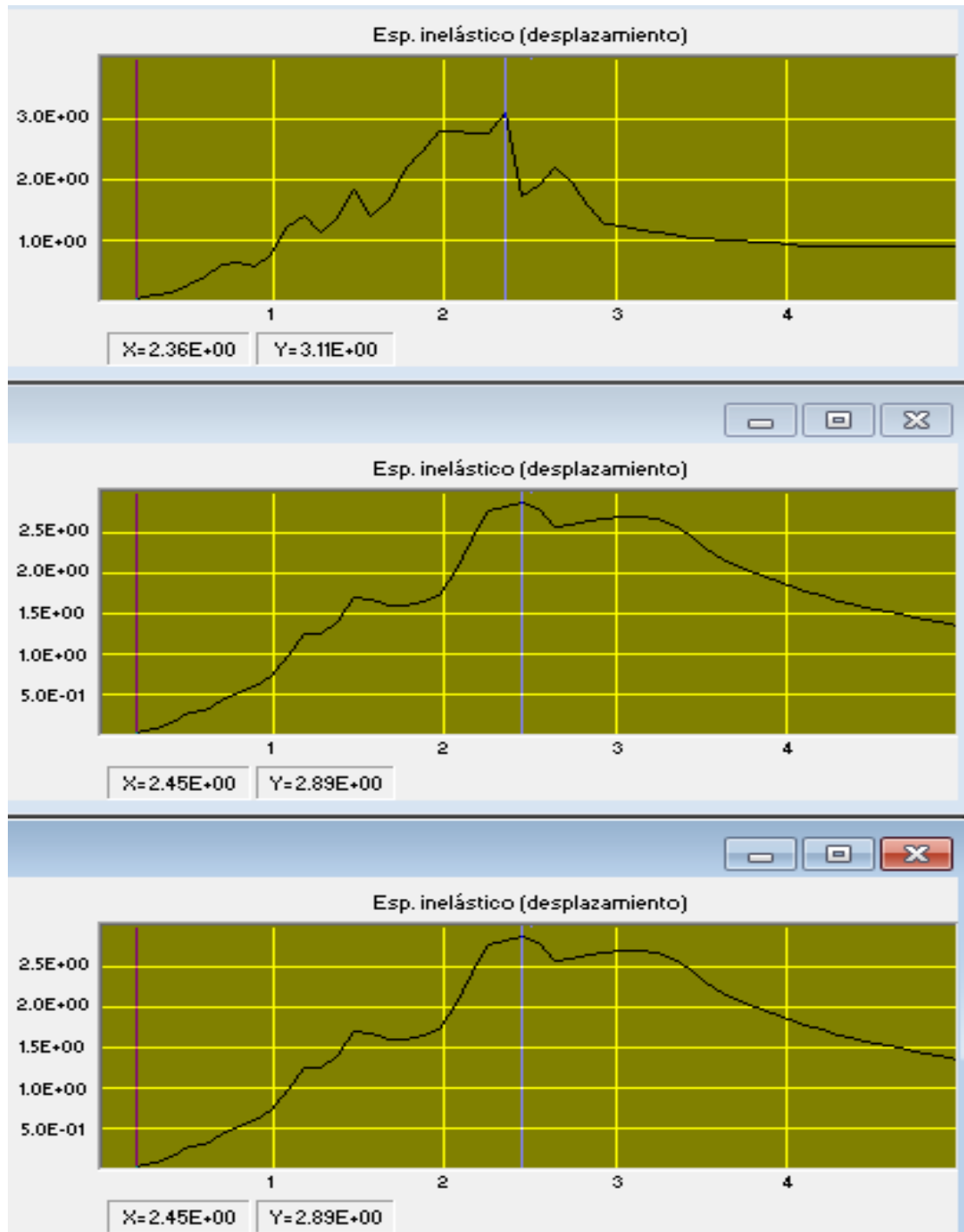
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE RESISTENCIA, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE RESISTENCIA, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO

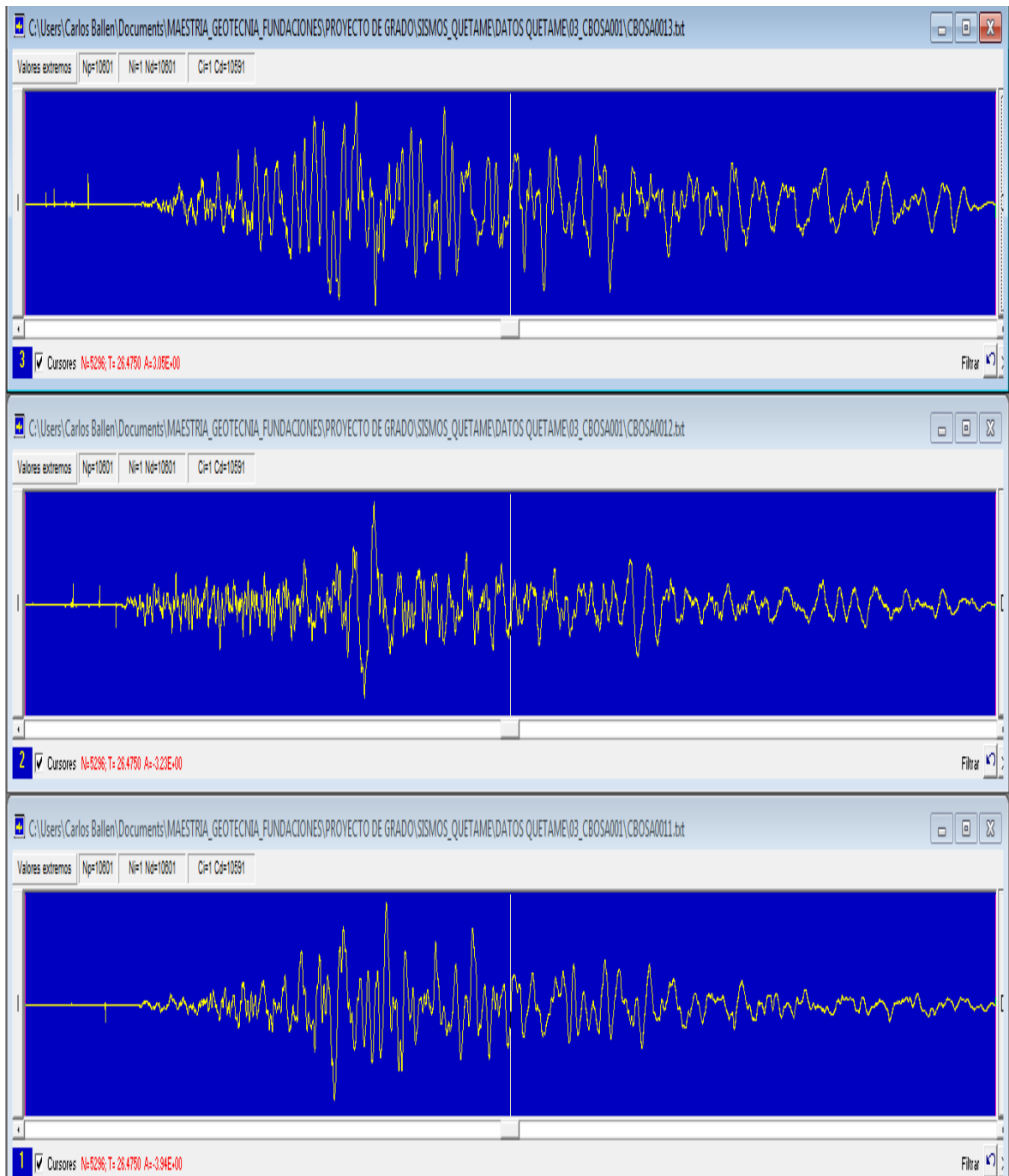


ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUSAL, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO

ESTACION COL. FERNANDO MAZUERA-CBOSA-ALUVIAL 100, H=70.00m
CALLE 68 A SUR N°87 D-09

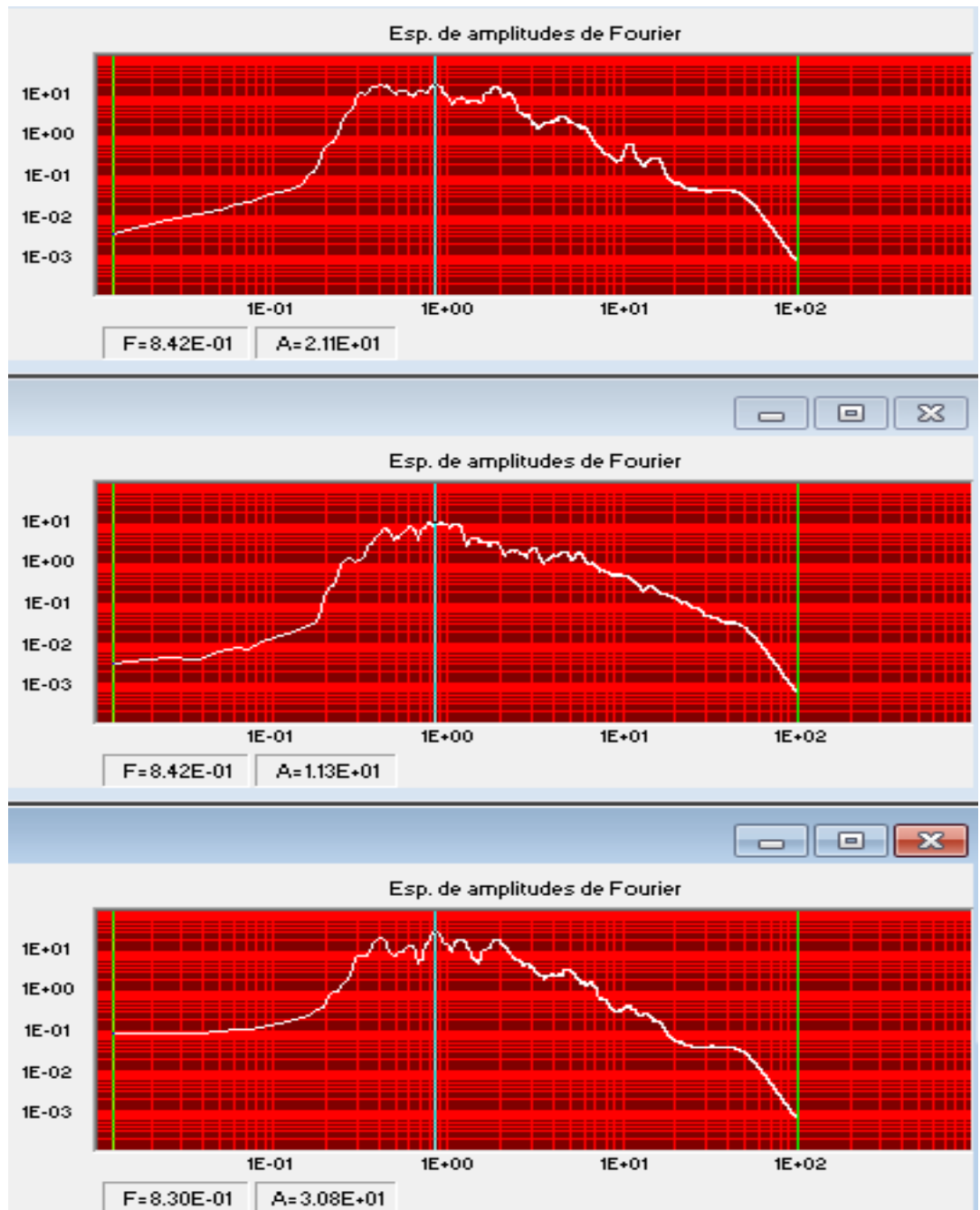


ACELEROGRAMA ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (1), V (2) Y NS (3) CON CORRECCION DE LINEA BASE Y FILTRO PASABANDA



INTENSIDAD DE ARIAS, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)

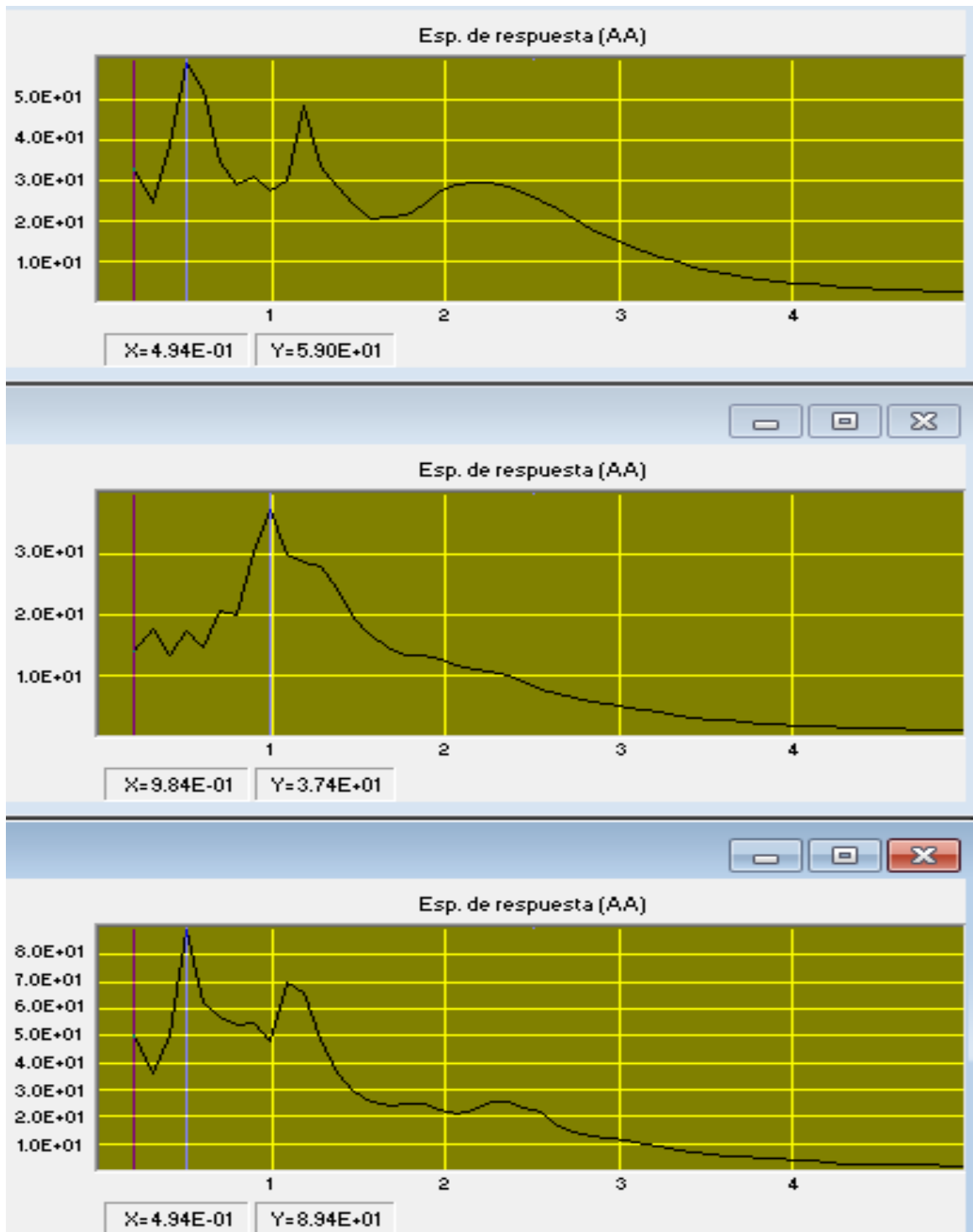
SEÑAL	INTENSIDAD	DURACION	PTO INICIAL	PTO FINAL
EO	1.07E+03	2.10E+01	3003	7204
V	1.79E+02	3.20E+01	2288	8683
NS	7.51E+02	3.02E+01	2686	8733
<i>La intensidad debe multiplicarse por $\pi/2g$</i>				



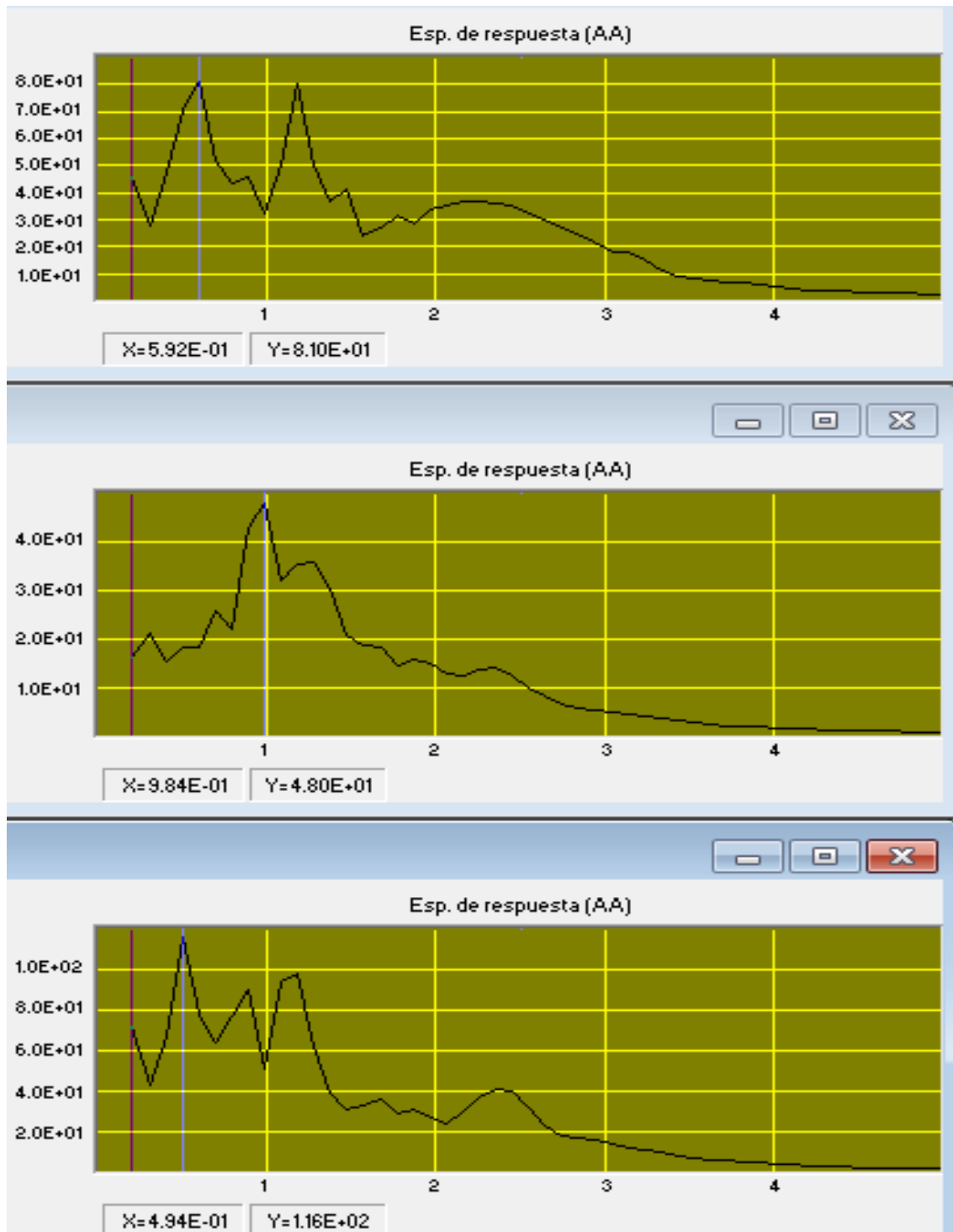
ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)

SEÑAL	F _{MIN}	F _{MAX}	ENERGIA
EO	1.22E-02	1.00E+02	1.07E+03
V	1.22E-02	1.00E+02	1.80E+02
NS	1.22E-02	1.00E+02	7.49E+02

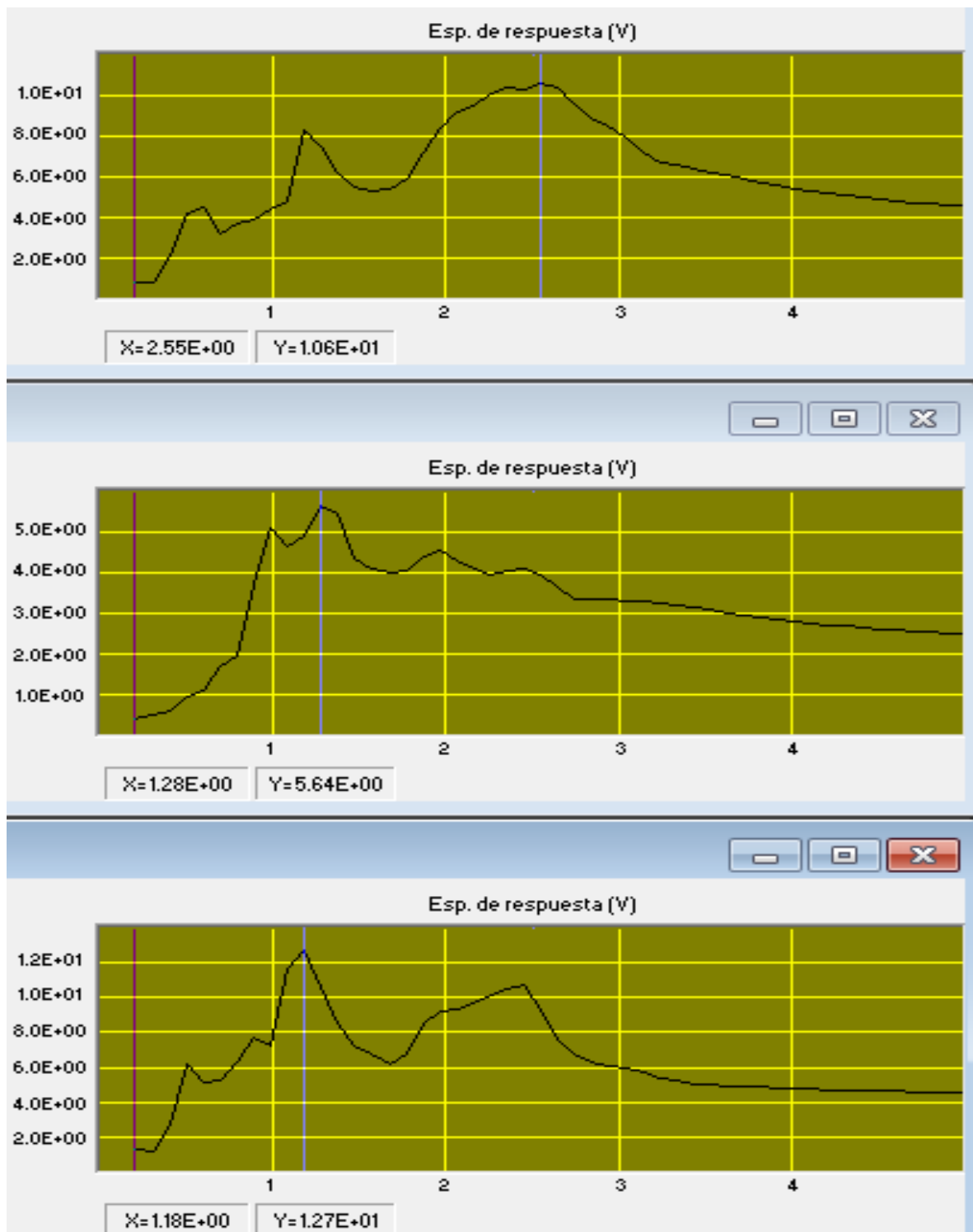
Es energia (por unidad de masa), solo cuando el espectro es de velocidad



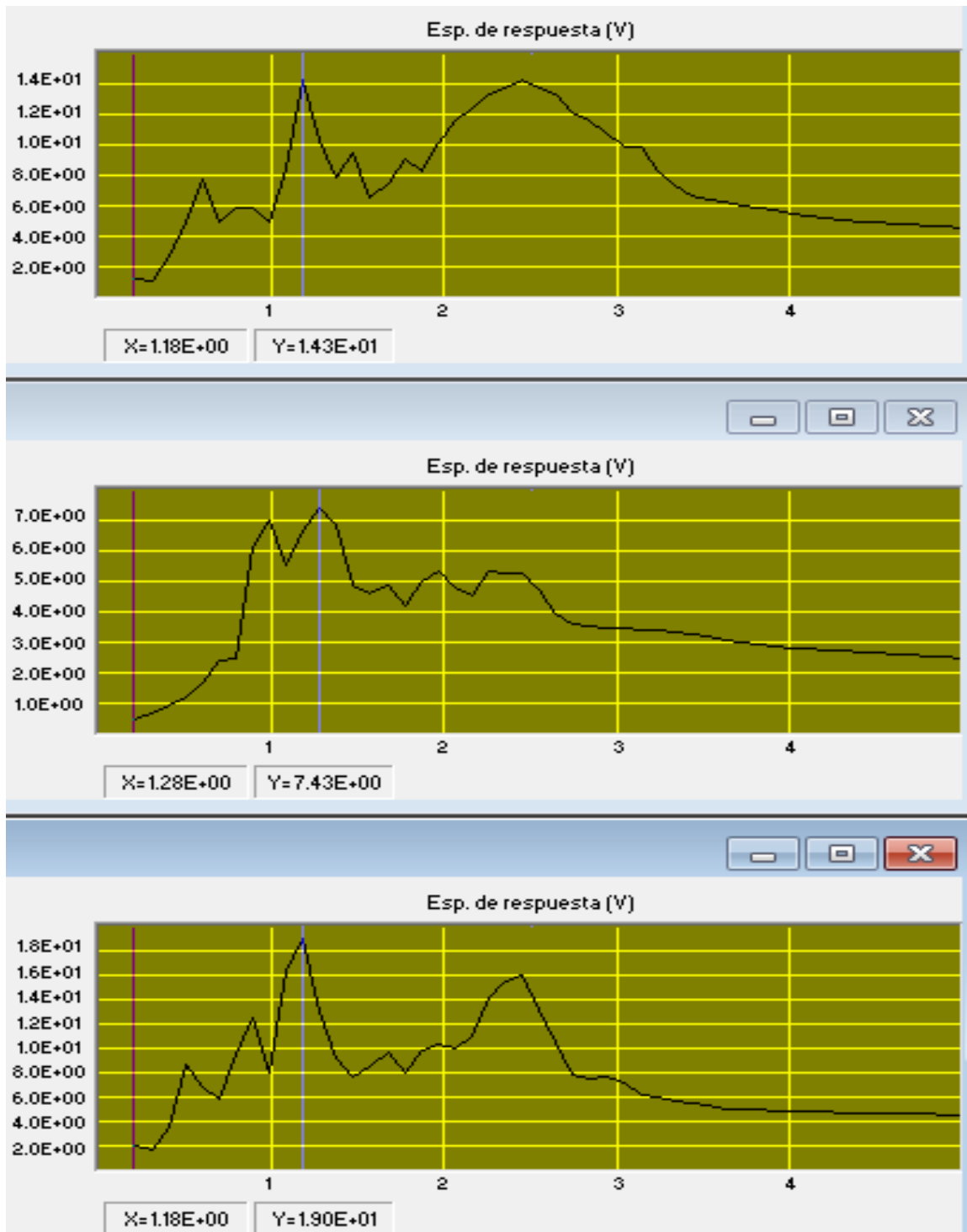
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



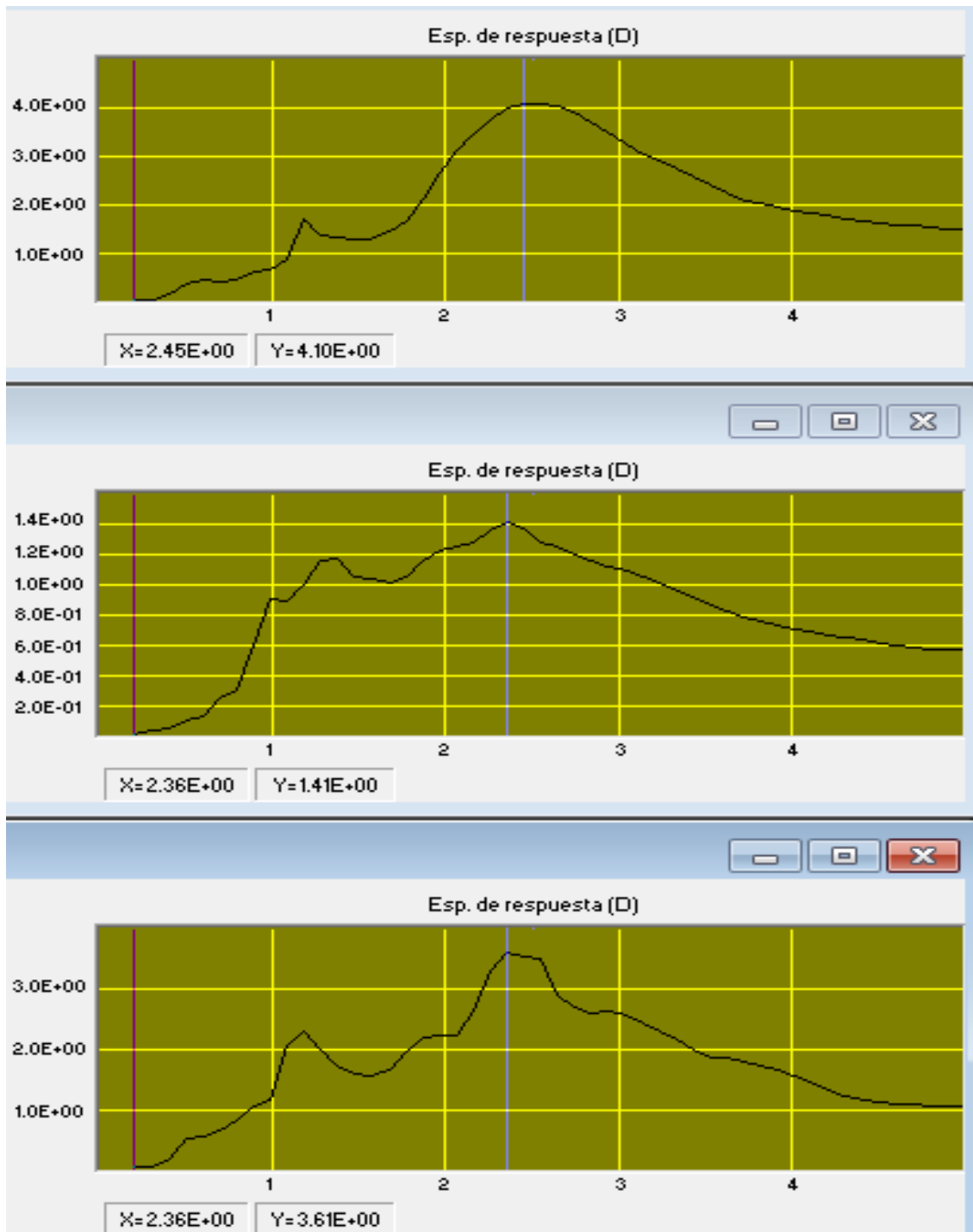
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



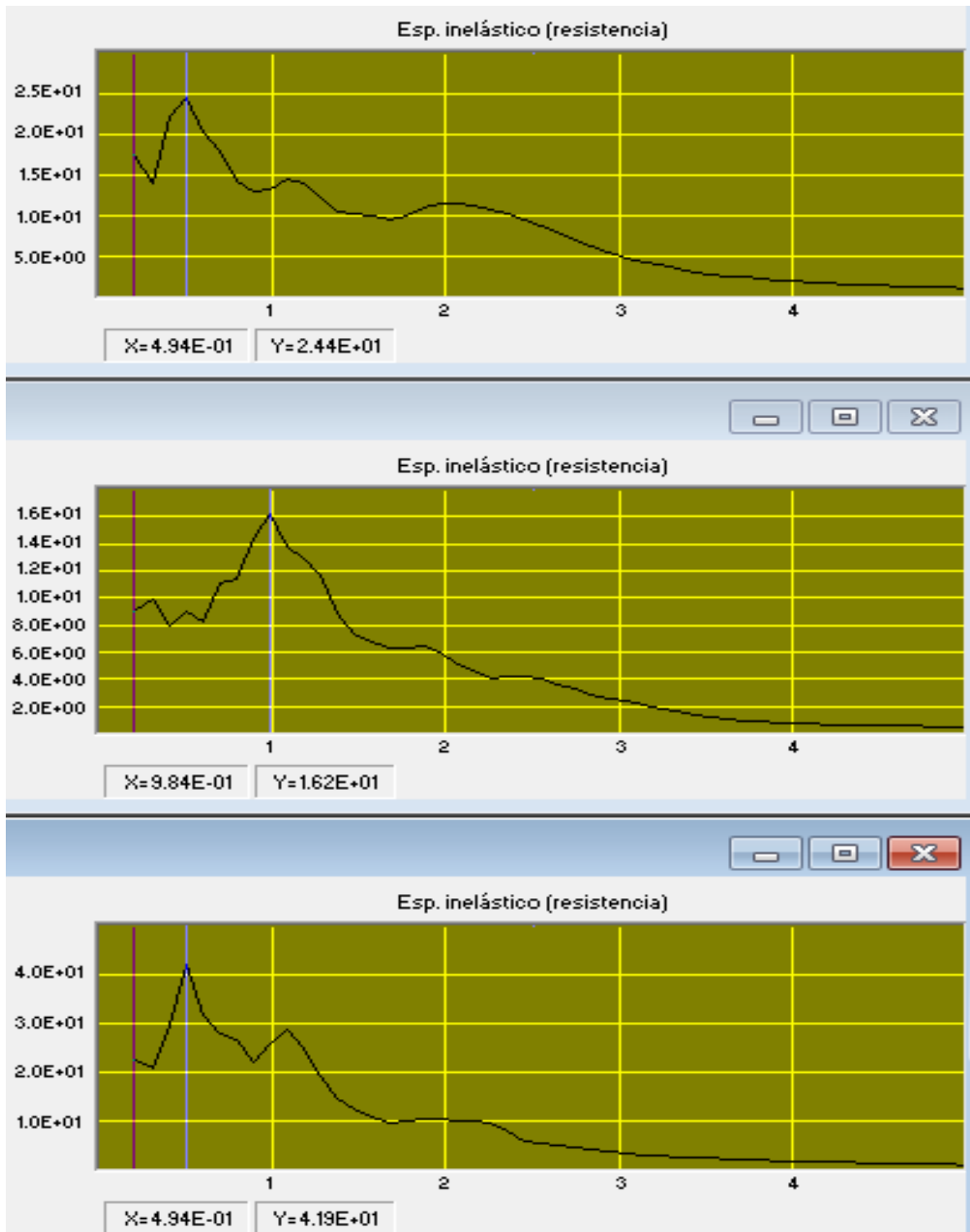
ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



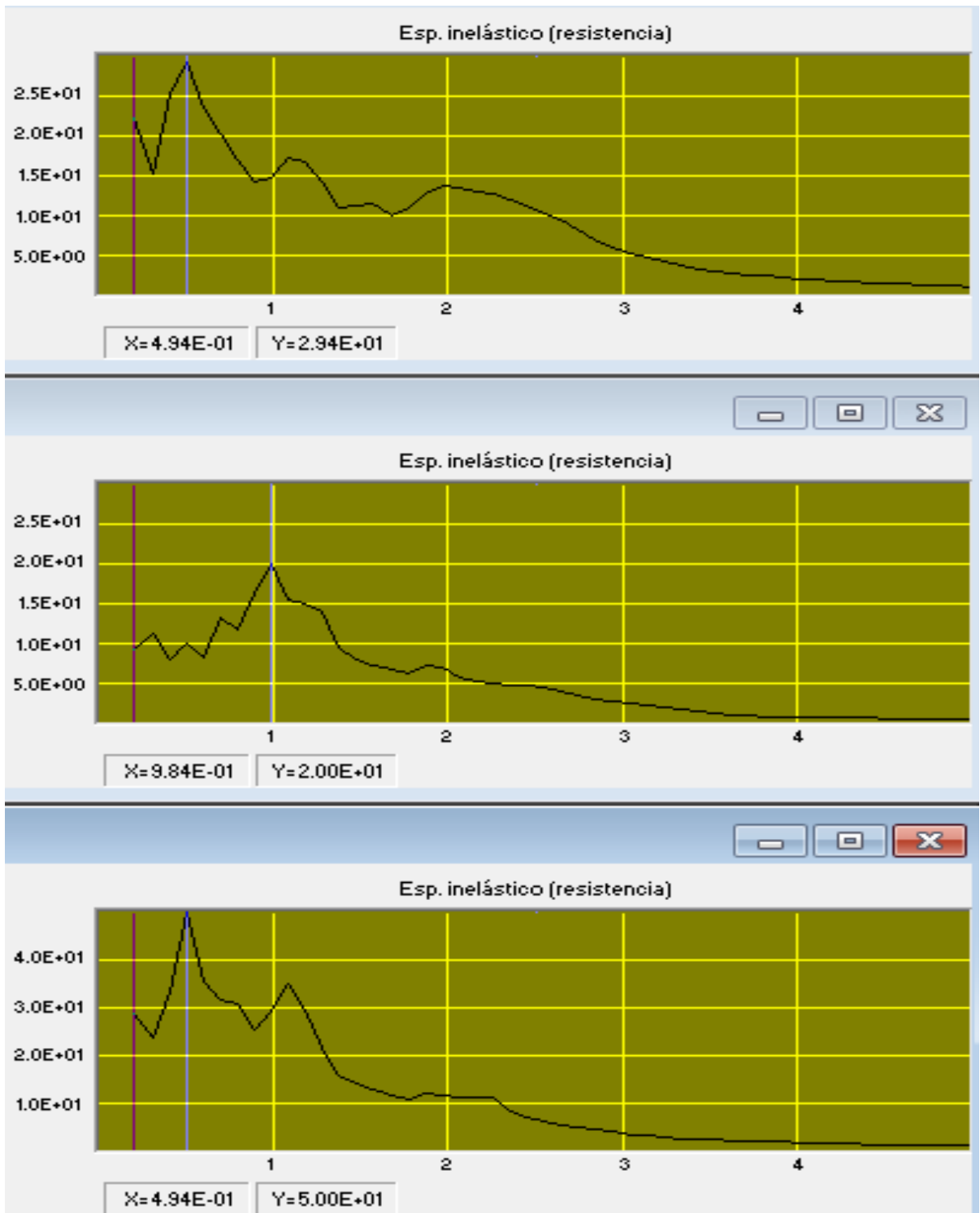
ESPECTRO DE RESPUESTA DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



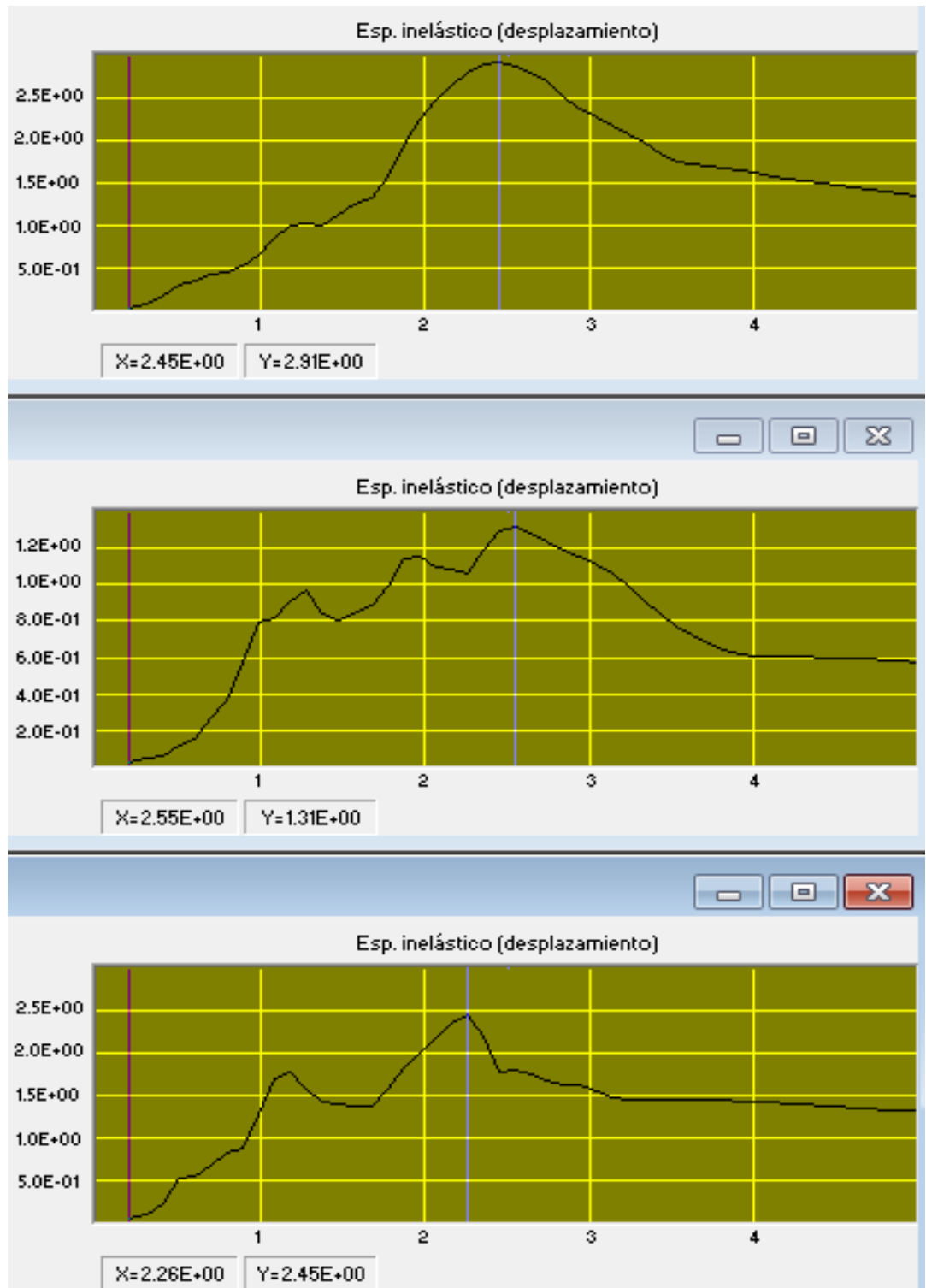
ESPECTRO DE RESPUESTA DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



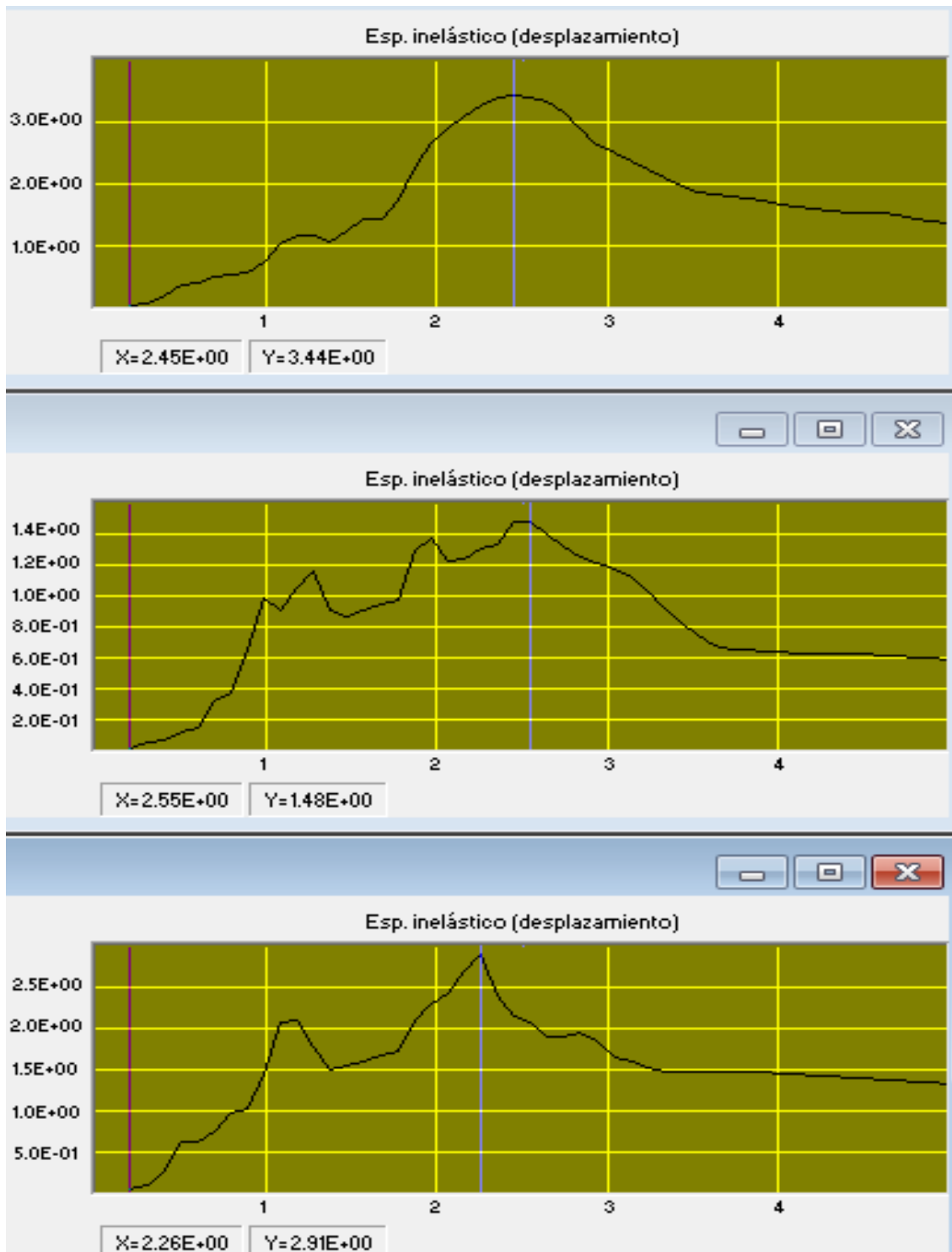
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE RESISTENCIA, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



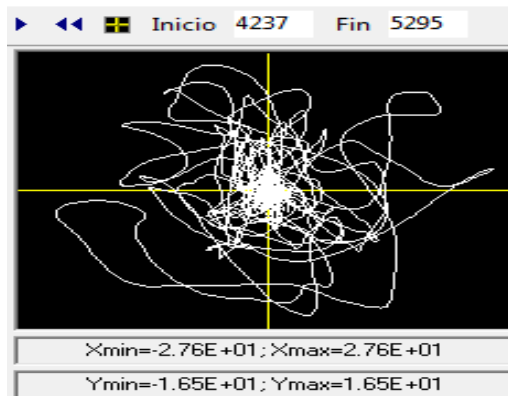
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE RESISTENCIA, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



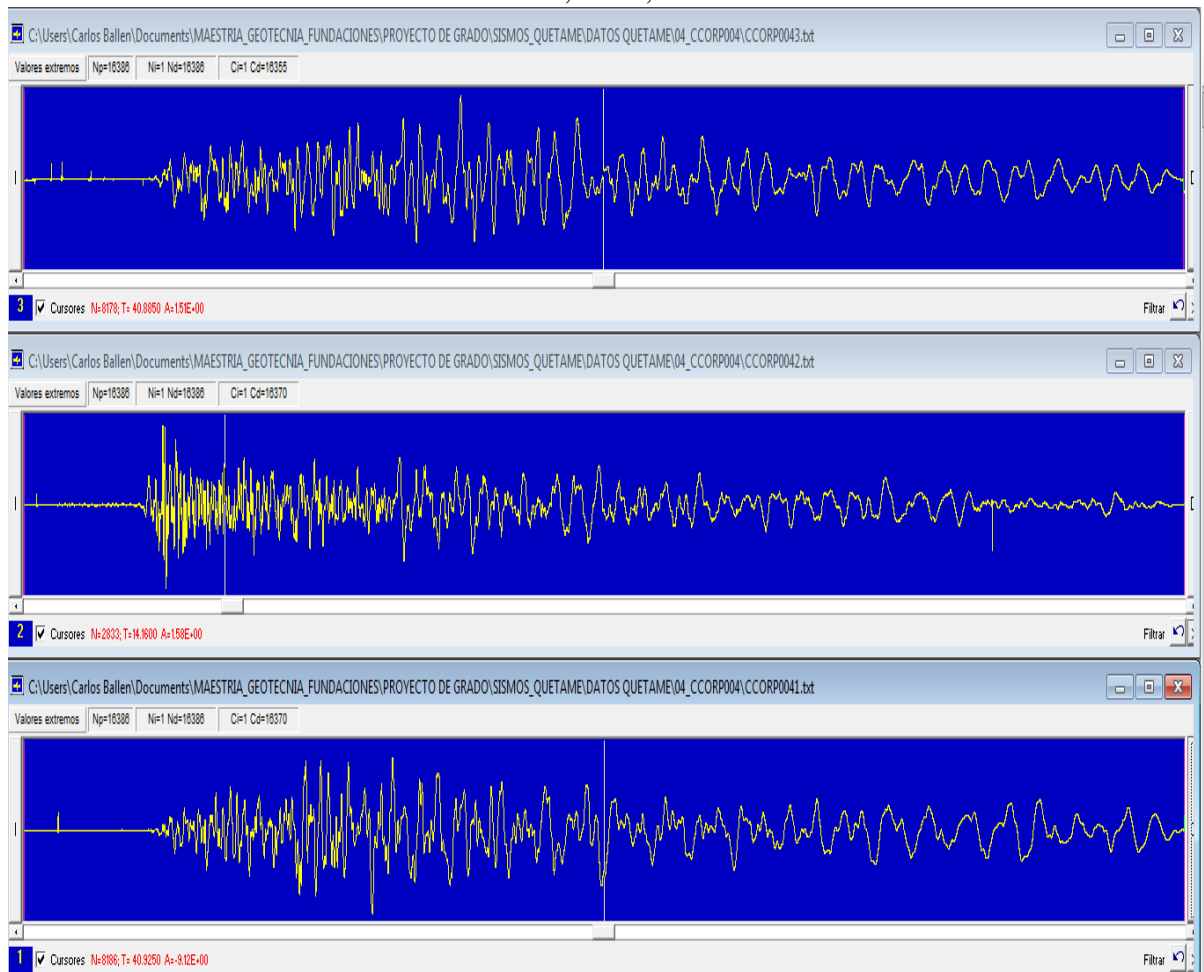
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CBOSA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



ESTACION CBOSA, ODOGRAMA SISMO QUETAME 2008
 ESTACION UNIVERSIDAD CORPAS-CCORP-LACUSTRE 250, H=220.00m
 Av. CORPAS, km 3, VIA SUBA

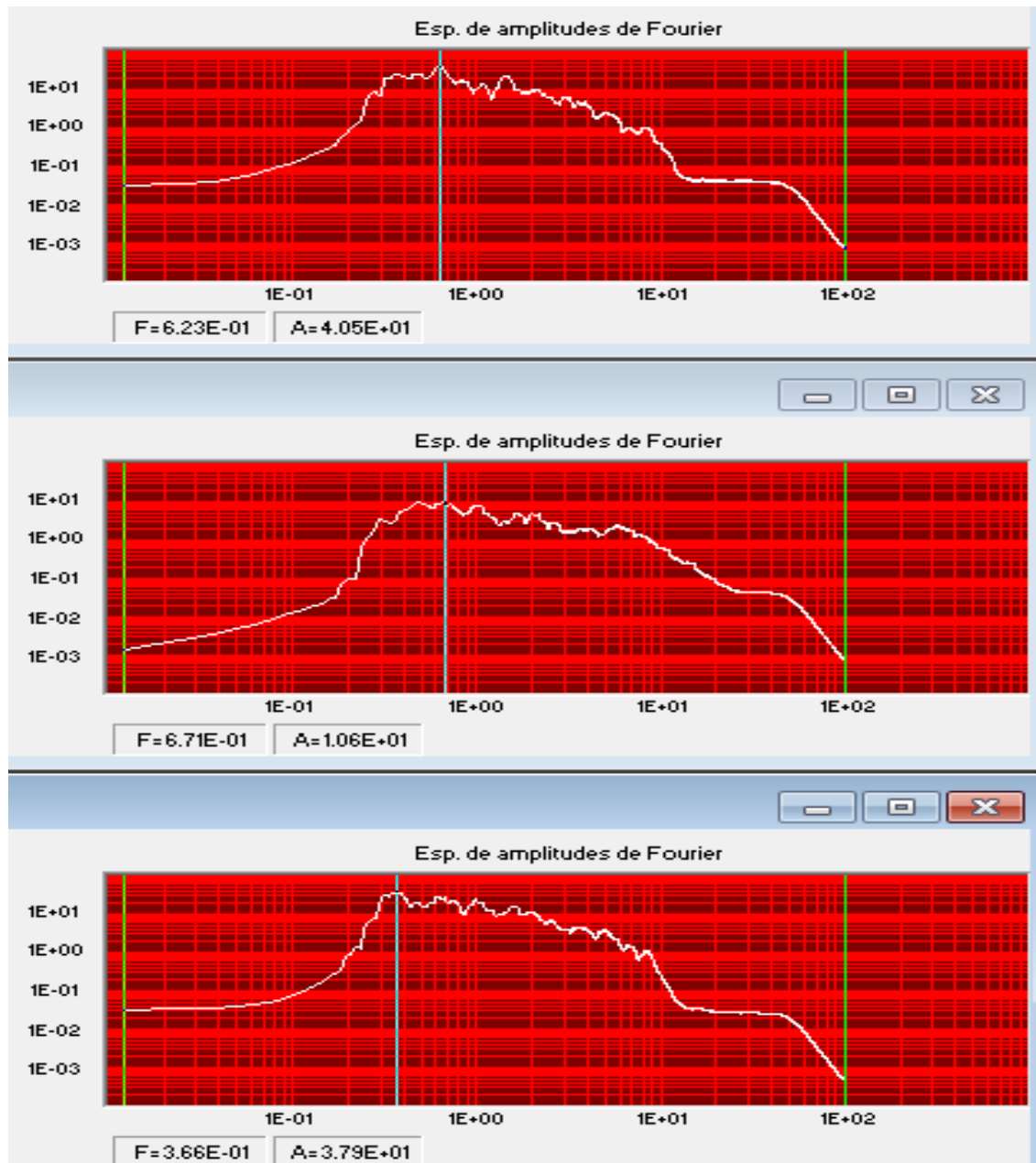


ACELEROGRAMA ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (1), V (2) Y NS (3) CON CORRECCION DE LINEA BASE Y FILTRO PASABANDA



INTENSIDAD DE ARIAS, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)

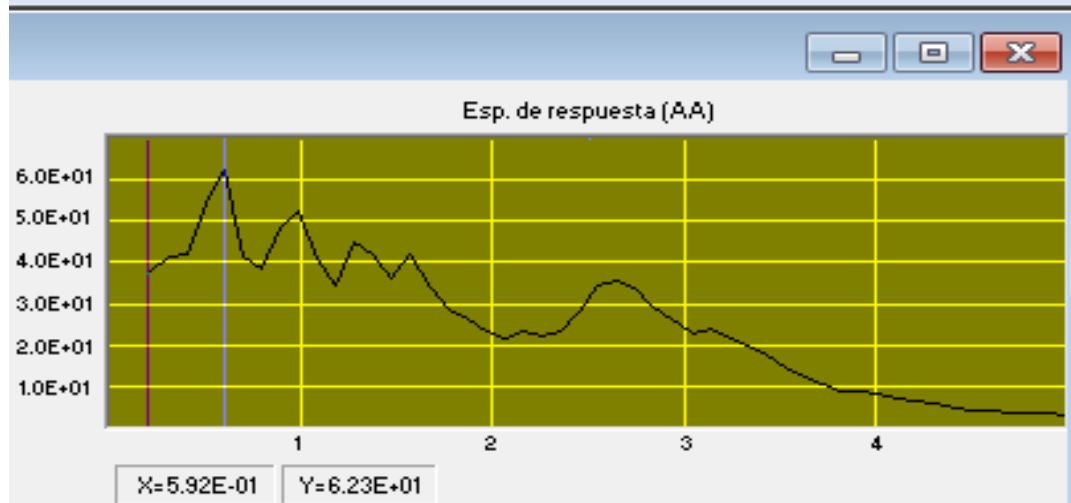
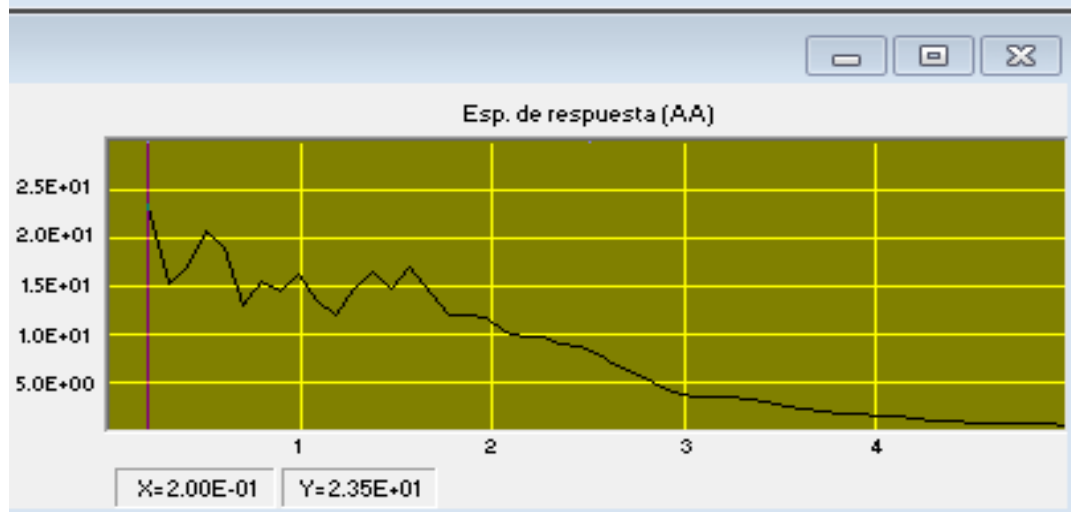
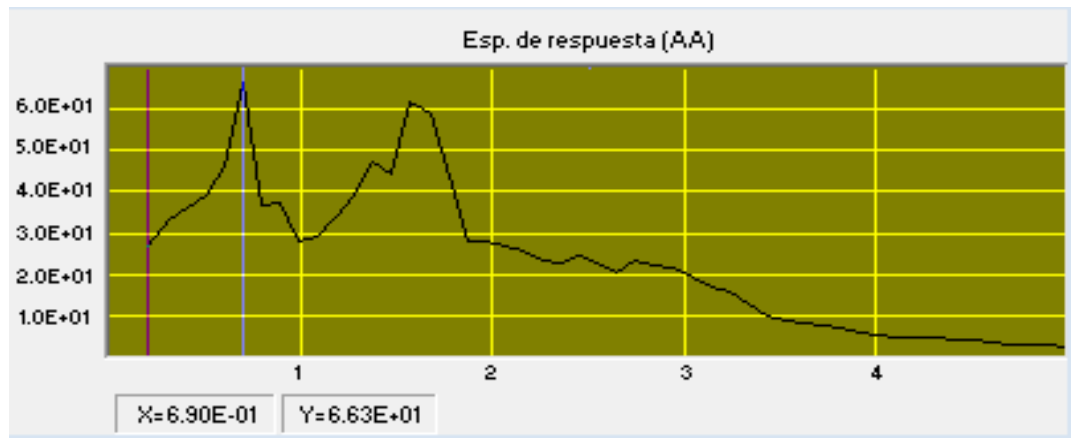
SEÑAL	INTENSIDAD	DURACION	PTO INICIAL	PTO FINAL
EO	1.23E+03	5.58E+01	3114	14277
V	1.69E+02	5.17E+01	1987	12331
NS	1.24E+03	5.45E+01	2906	13814
<i>La intensidad debe multiplicarse por $\pi/2g$</i>				



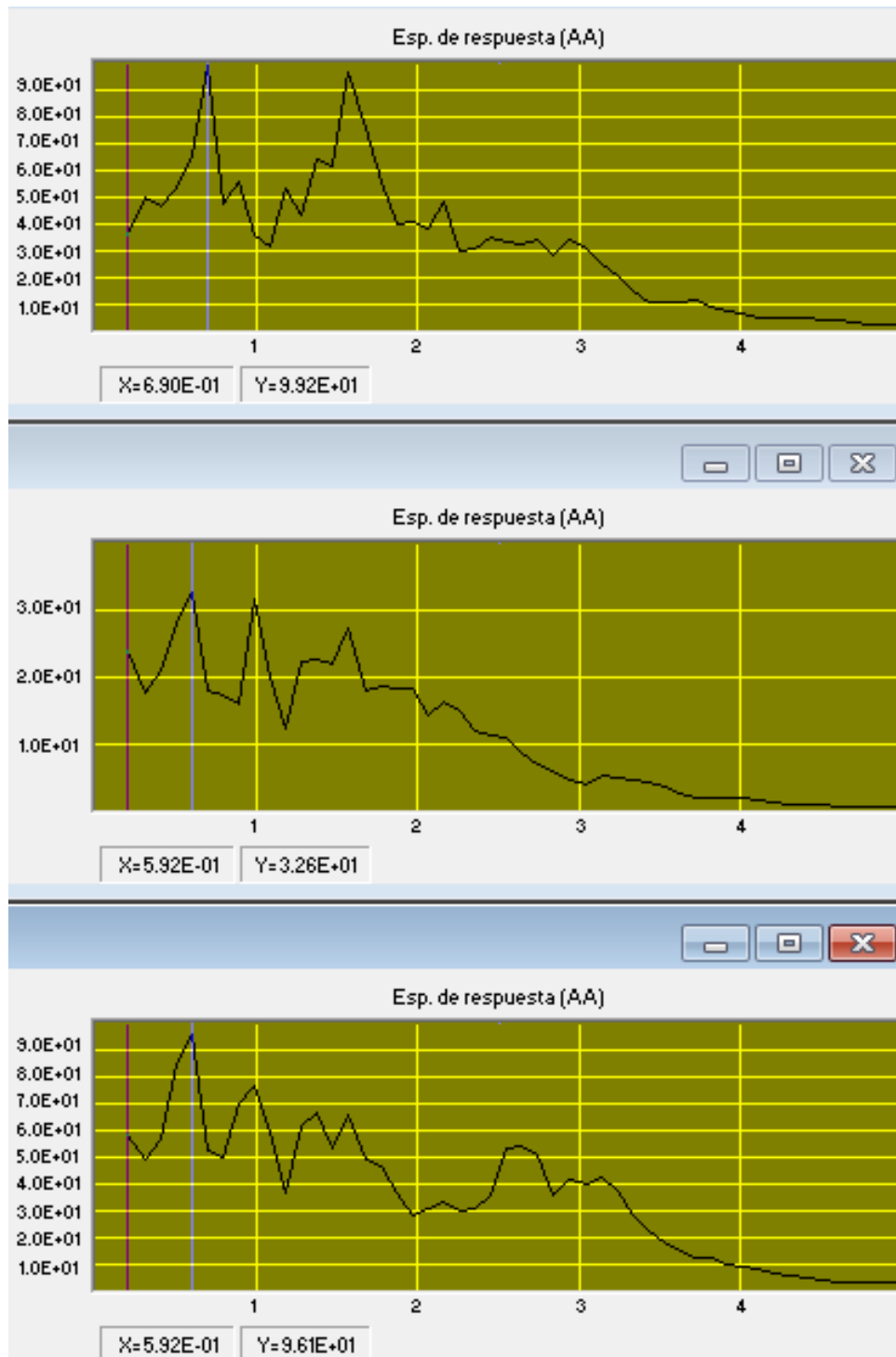
ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)

SEÑAL	F_{MIN}	F_{MAX}	ENERGIA
EO	$1.22E-02$	$1.00E+02$	$1.22E+03$
V	$1.22E-02$	$1.00E+02$	$1.69E+02$
NS	$1.22E-02$	$1.00E+02$	$1.23E+03$

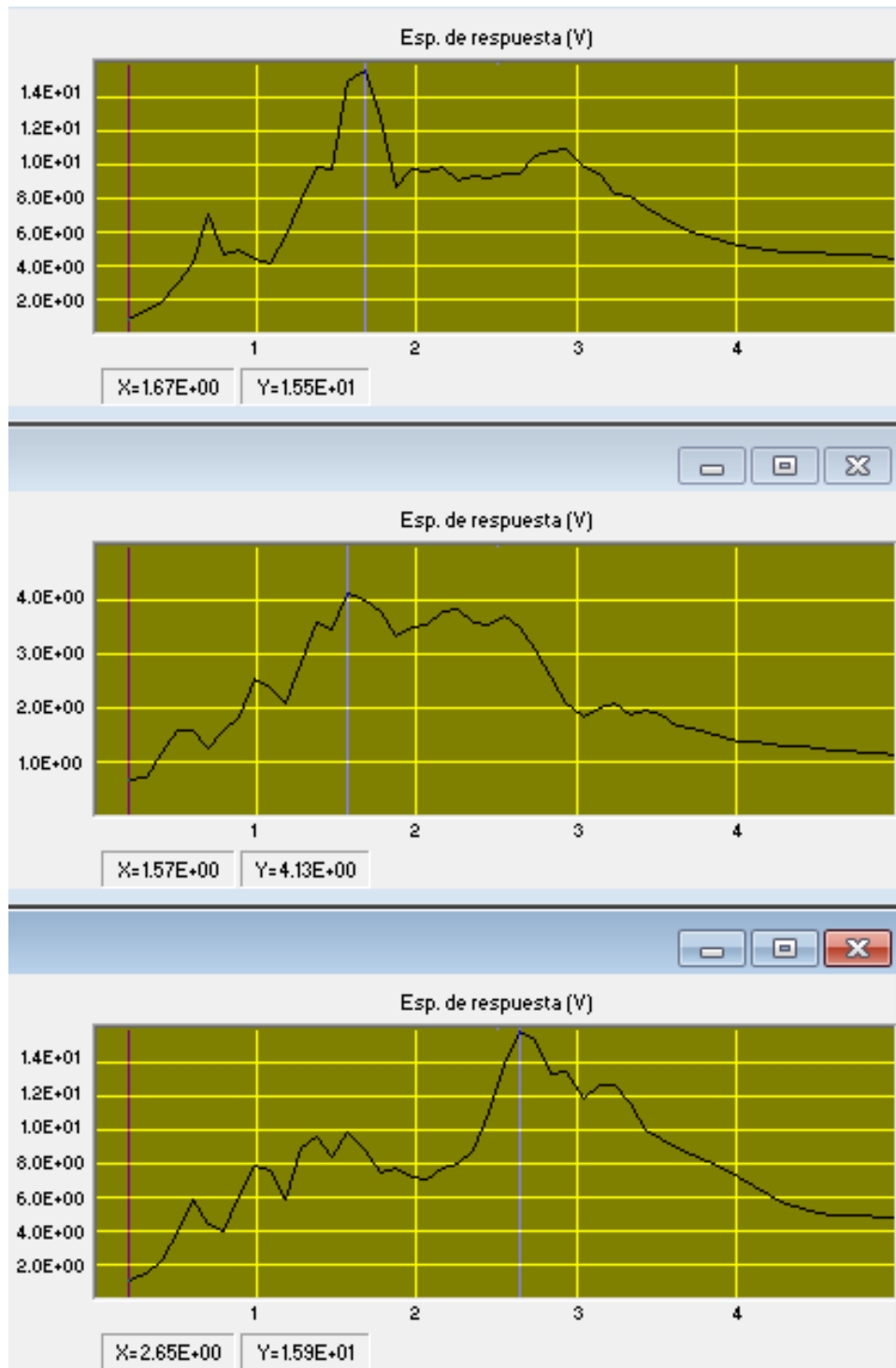
Es energia (por unidad de masa), solo cuando el espectro es de velocidad



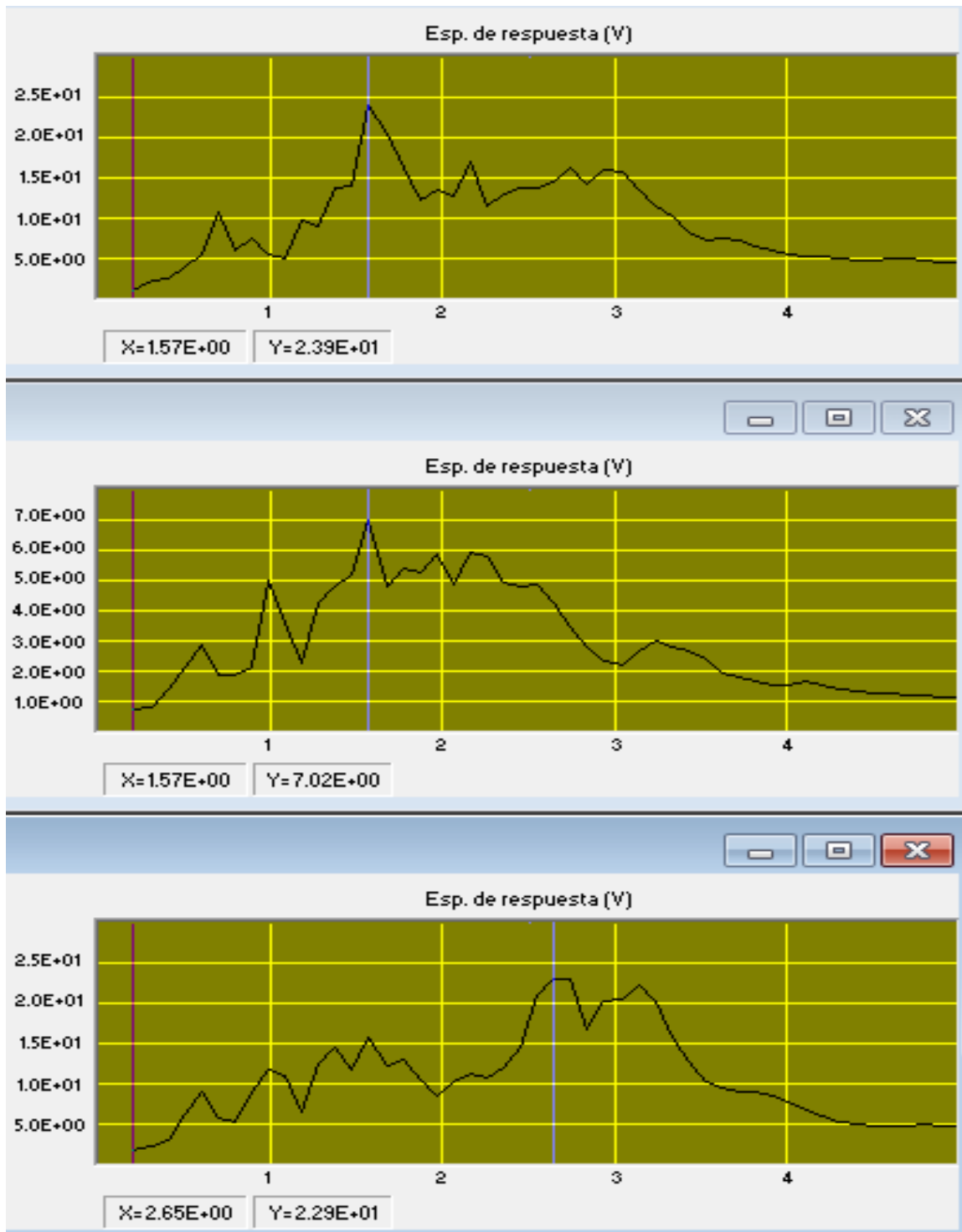
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



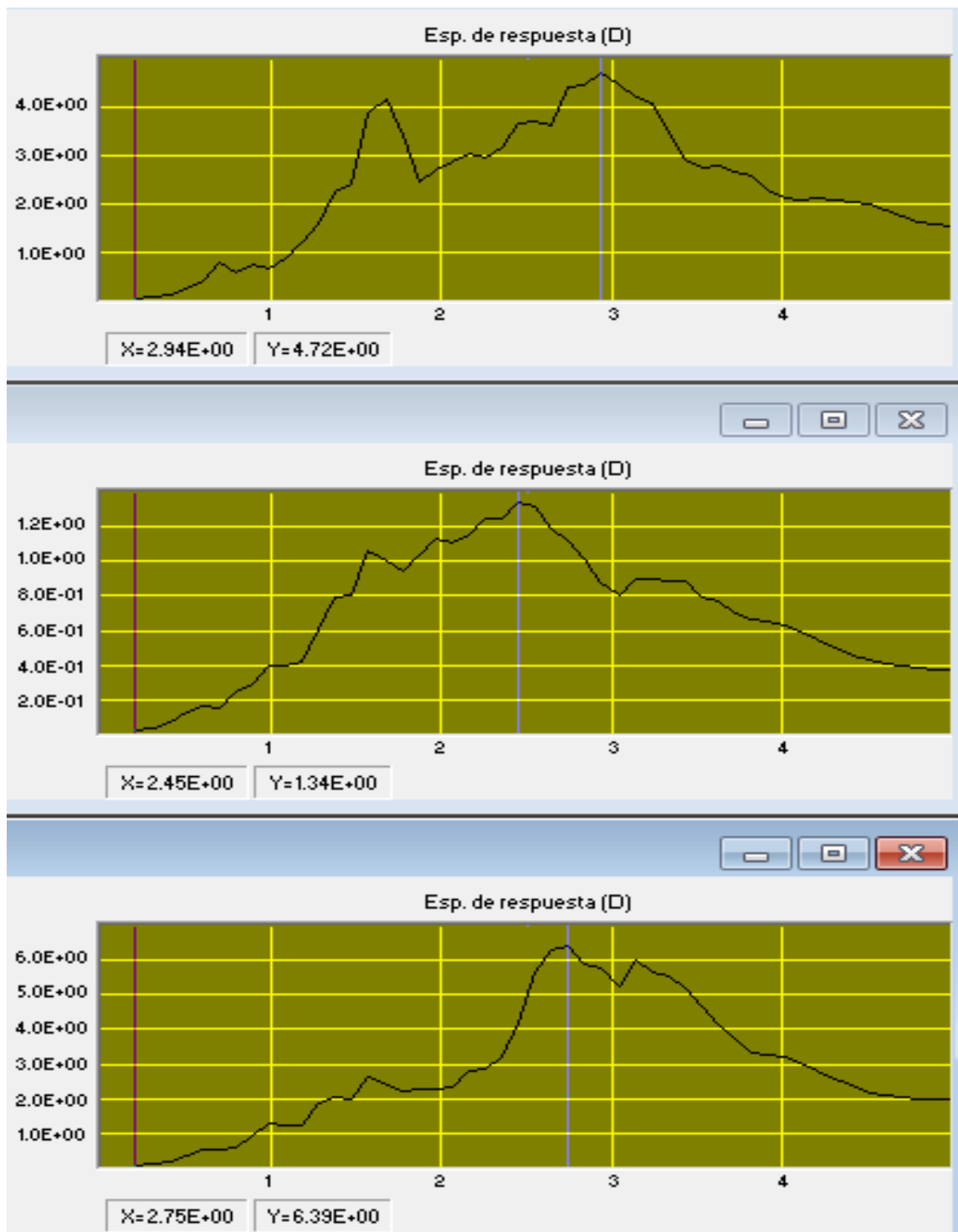
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



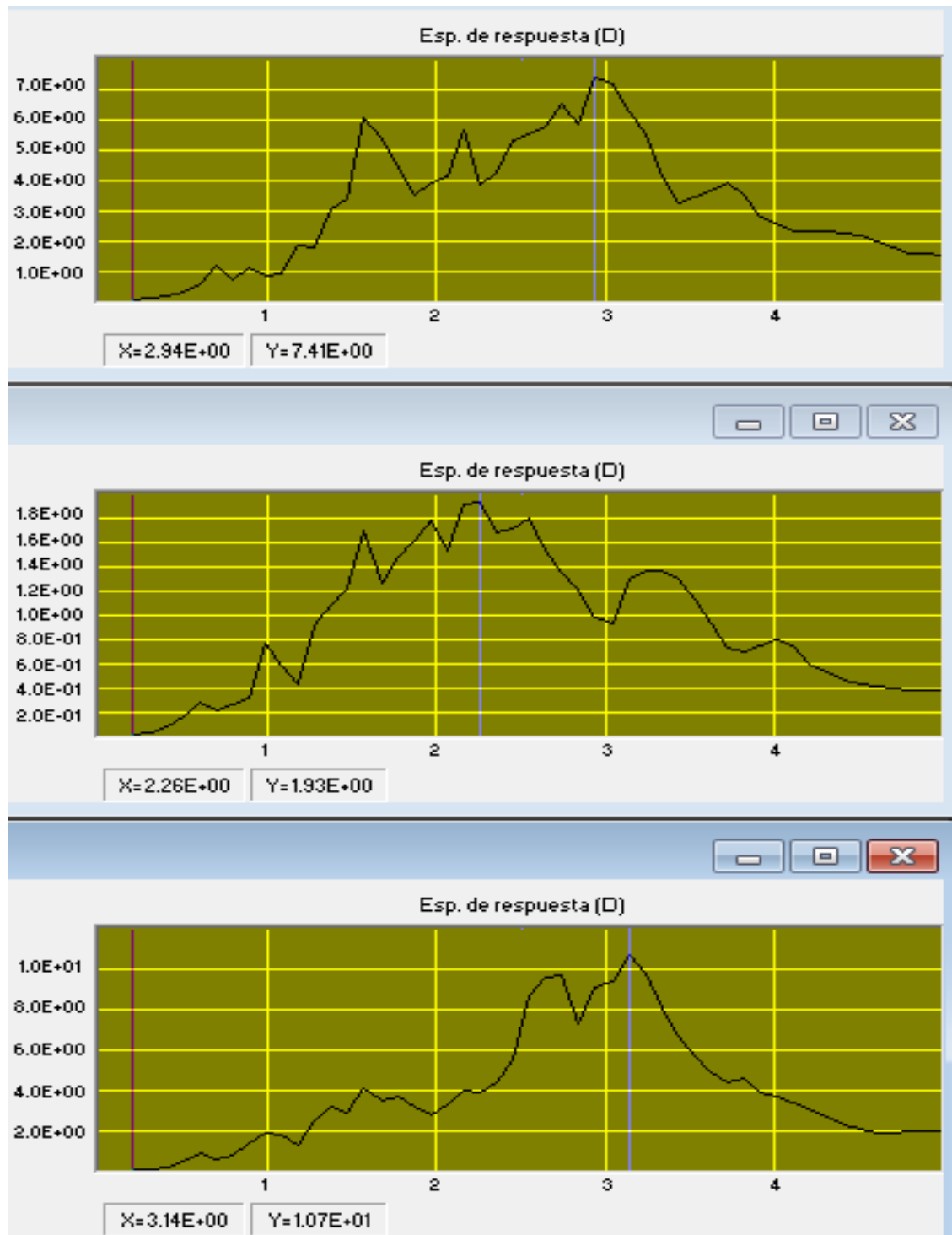
ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



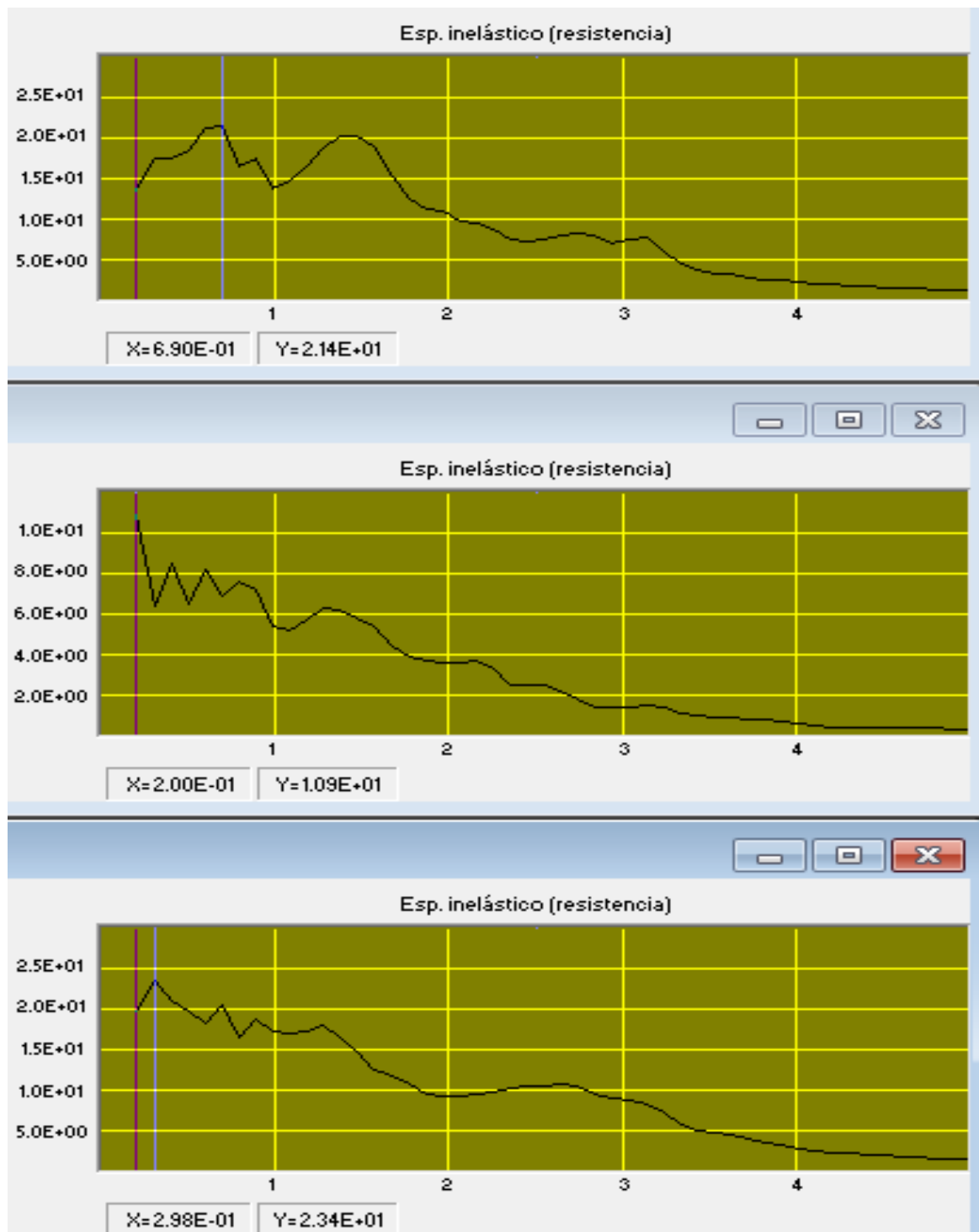
ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



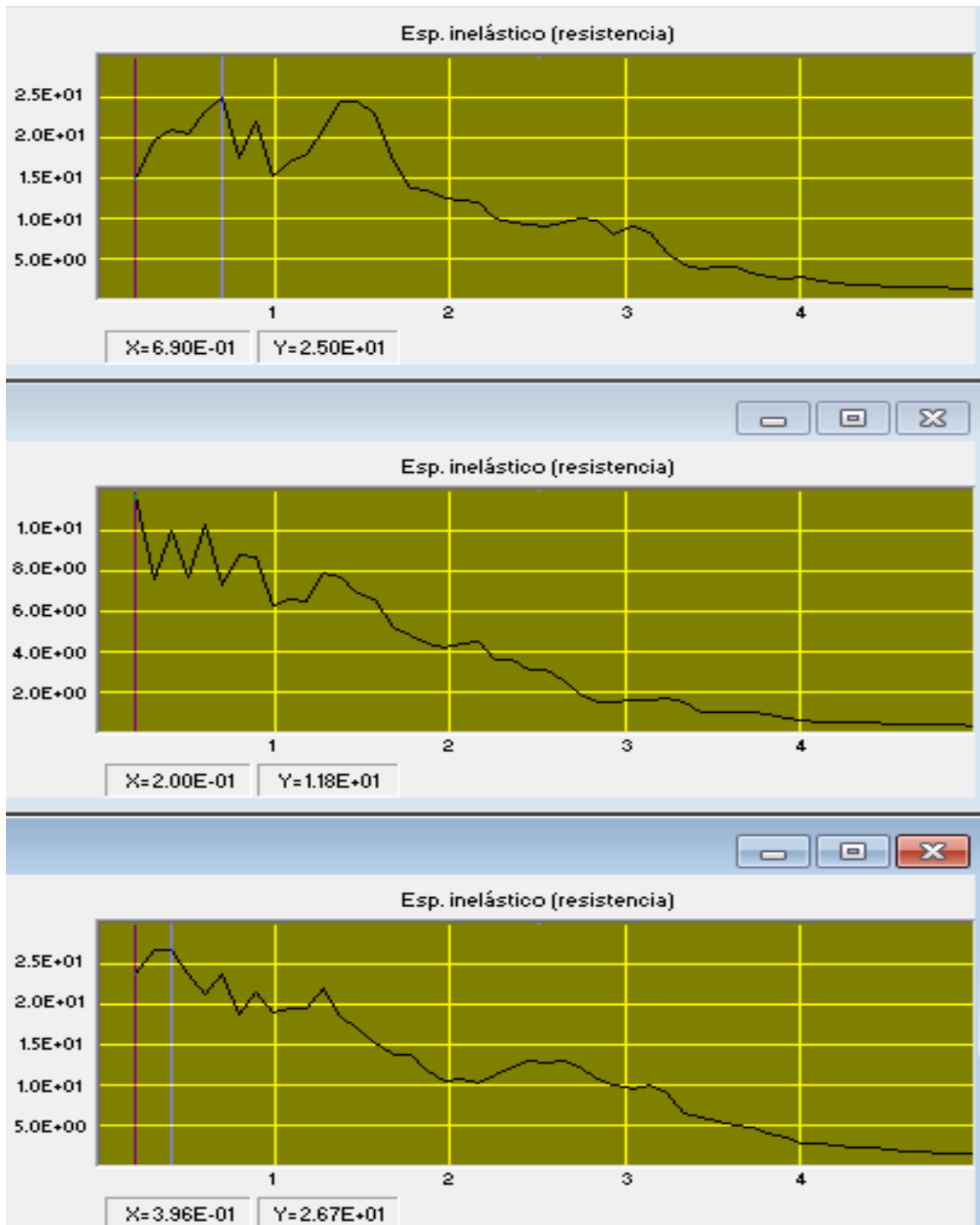
ESPECTRO DE RESPUESTA DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



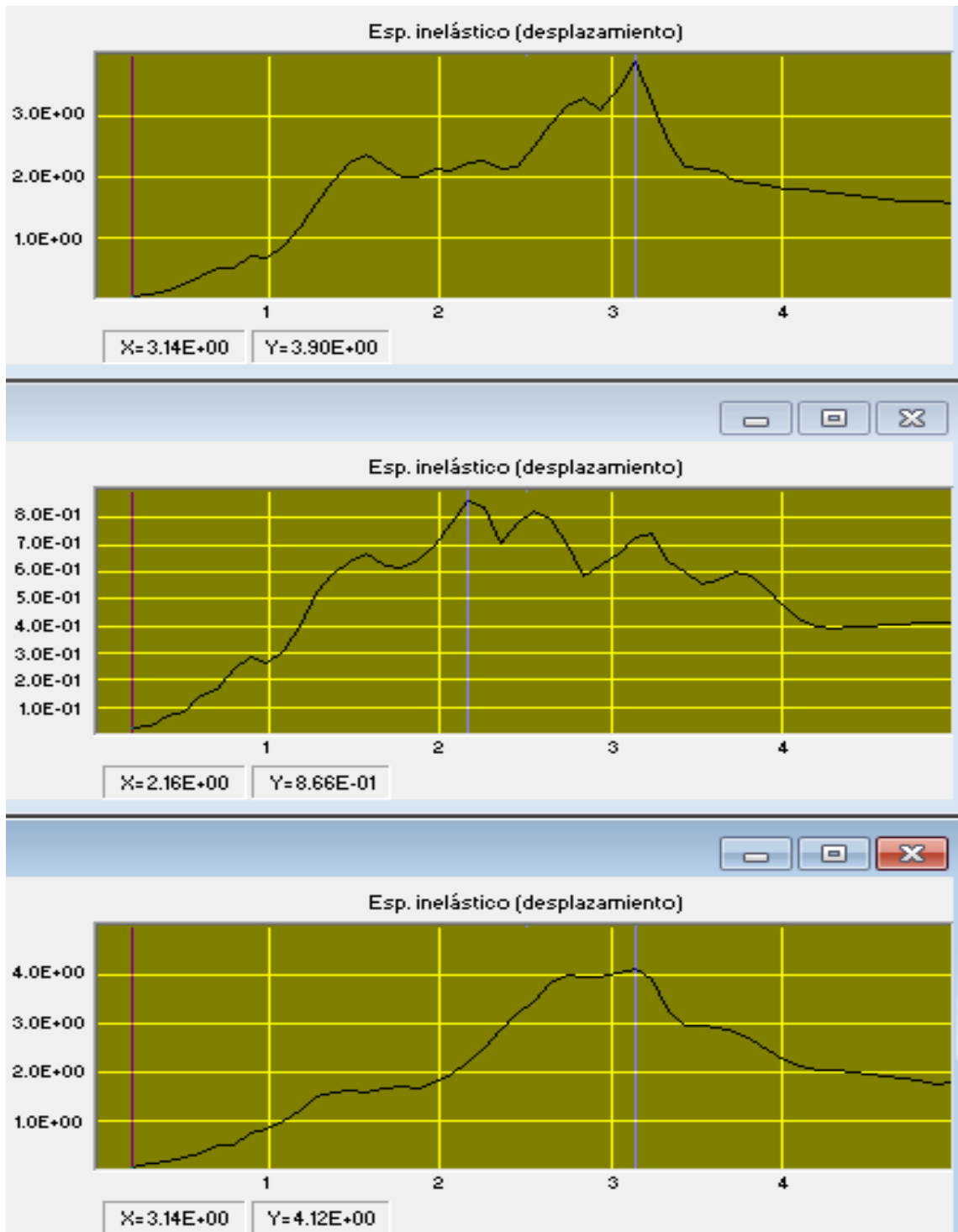
ESPECTRO DE RESPUESTA DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



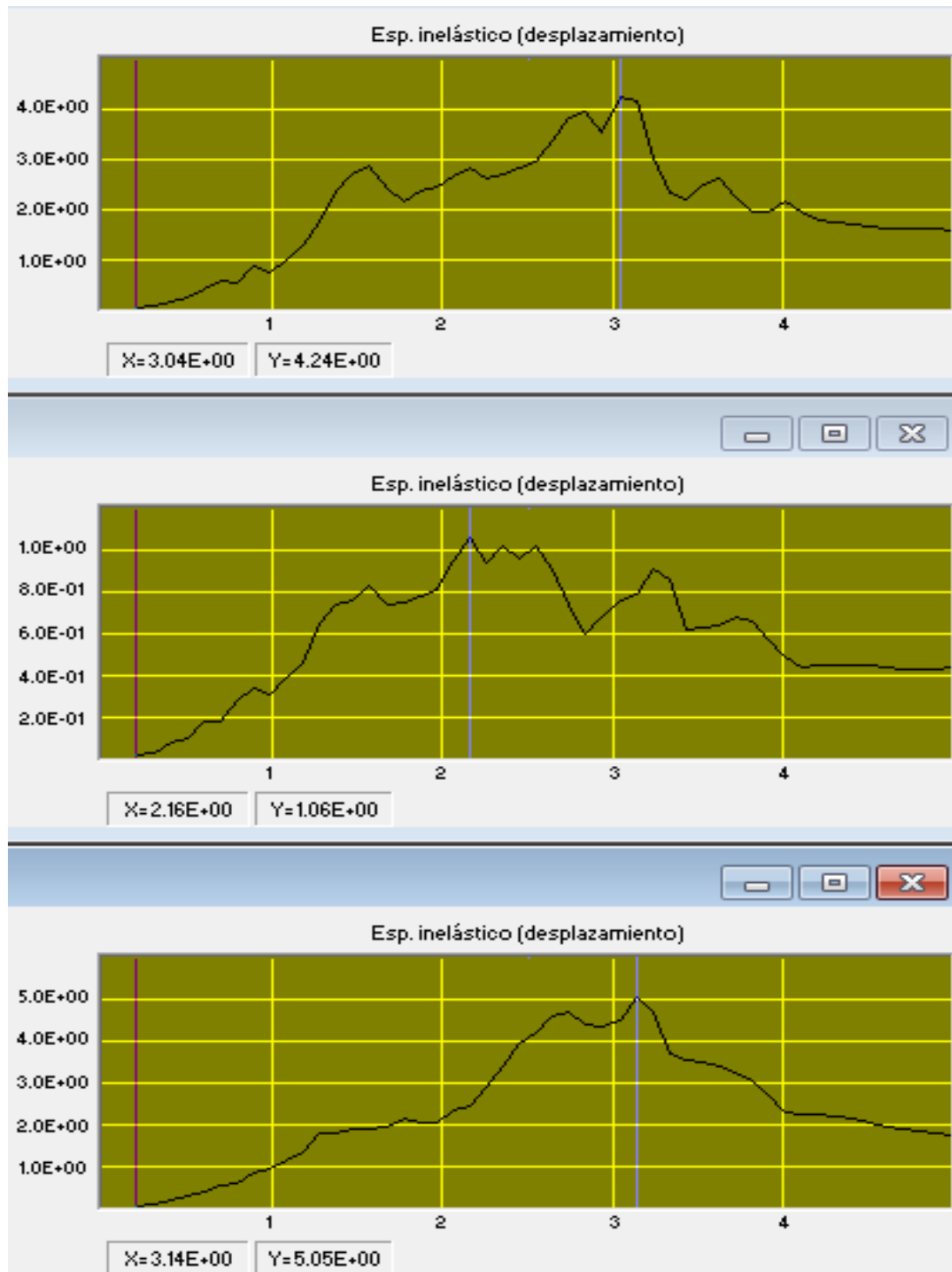
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE RESISTENCIA, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



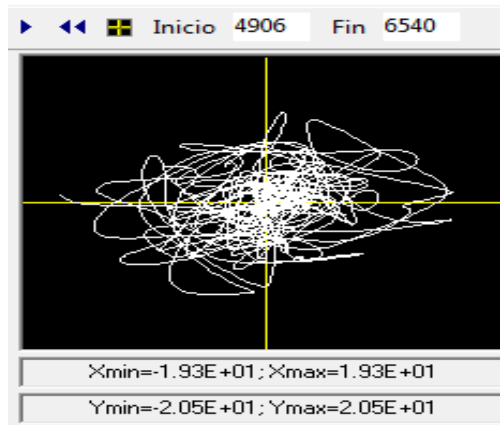
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE RESISTENCIA, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



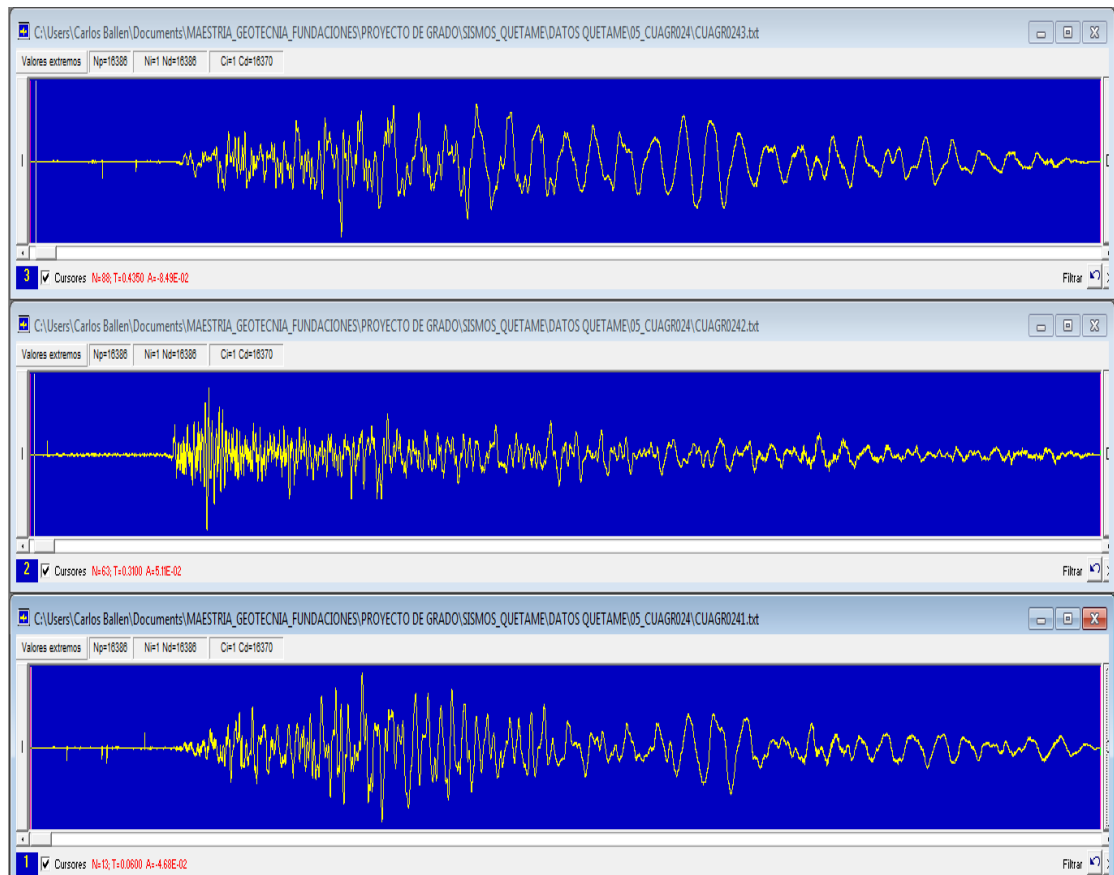
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



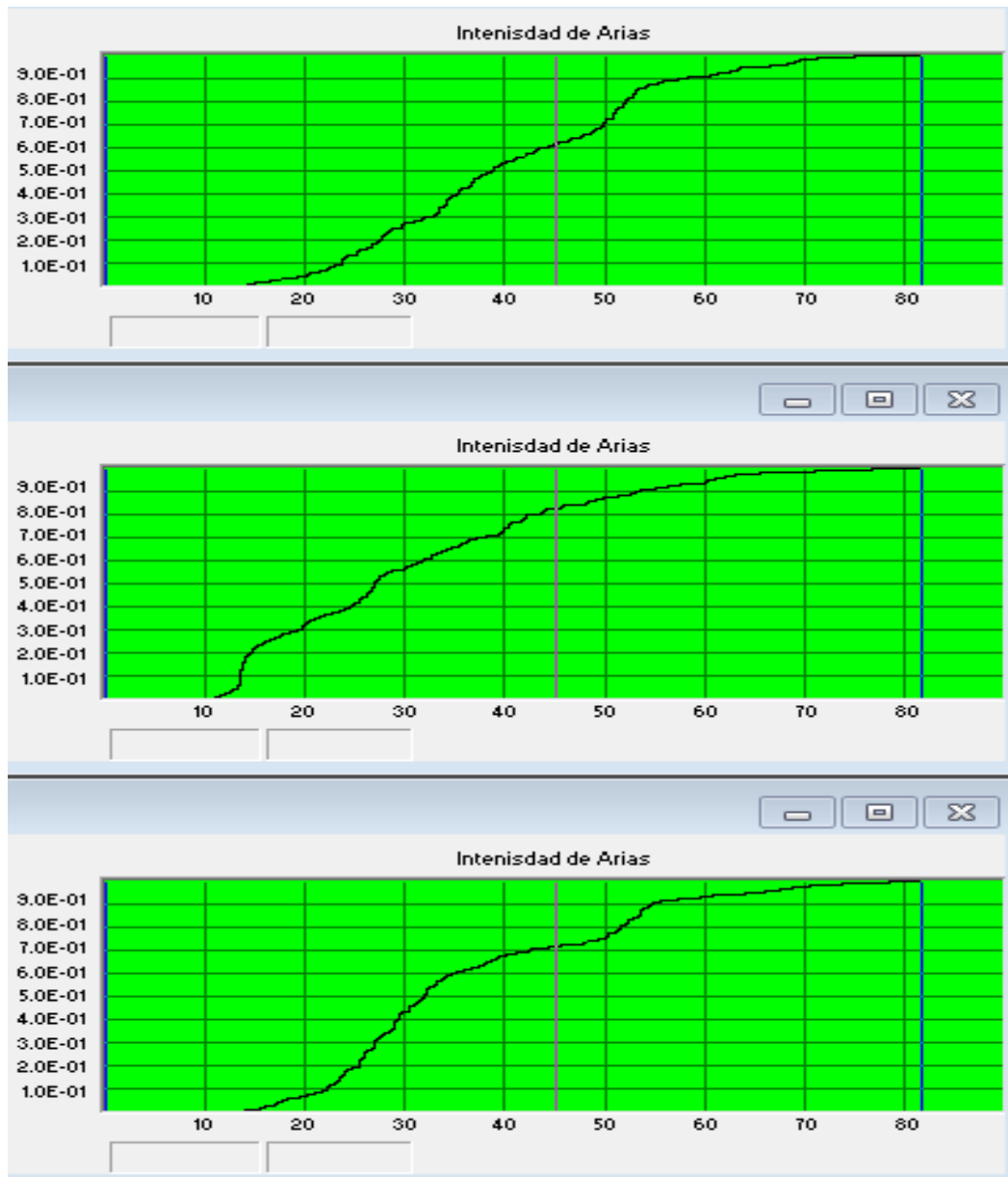
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CCORP, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



ESTACION CCORP, ODOGRAMA SISMO QUETAME 2008
 ESTACION UNIVERSIDAD AGRARIA-CUAGR-LACUSTRE 150, H=130.00m
 CALLE 170 N° 50-90, (REGISTROS EN SUPERFICIE Y ROCA)



ACELEROGRAMA EN SUPERFICIE, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008,
 EO (1), V (2) Y NS (3) CON CORRECCION DE LINEA BASE Y FILTRO
 PASABANDA



INTENSIDAD DE ARIAS, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)

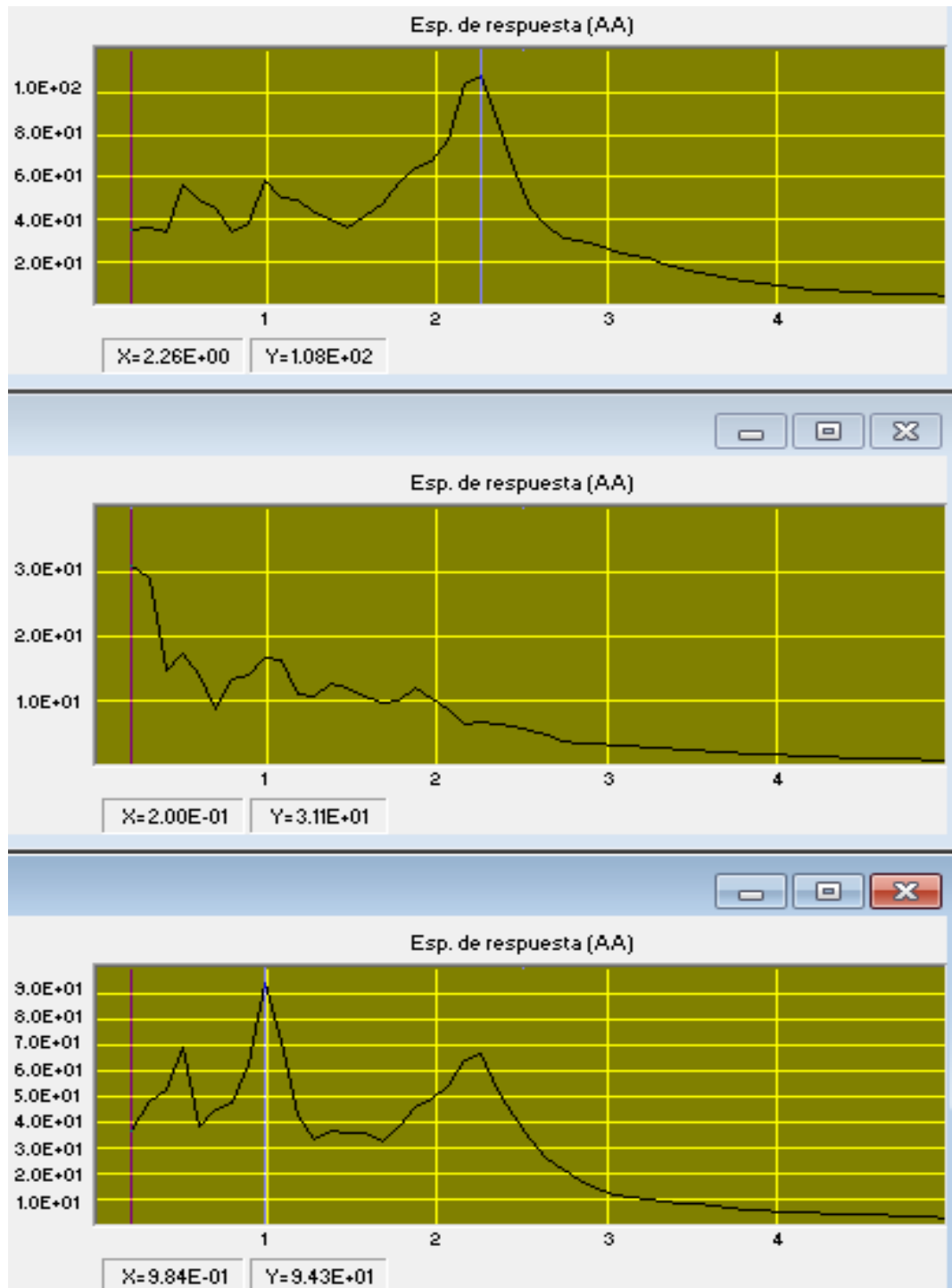
SEÑAL	INTENSIDAD	DURACION	PTO INICIAL	PTO FINAL
EO	1.75E+03	4.73E+01	3602	13065
V	1.74E+02	4.73E+01	2642	12095
NS	2.66E+03	4.47E+01	4078	13017
<i>La intensidad debe multiplicarse por $\pi/2g$</i>				



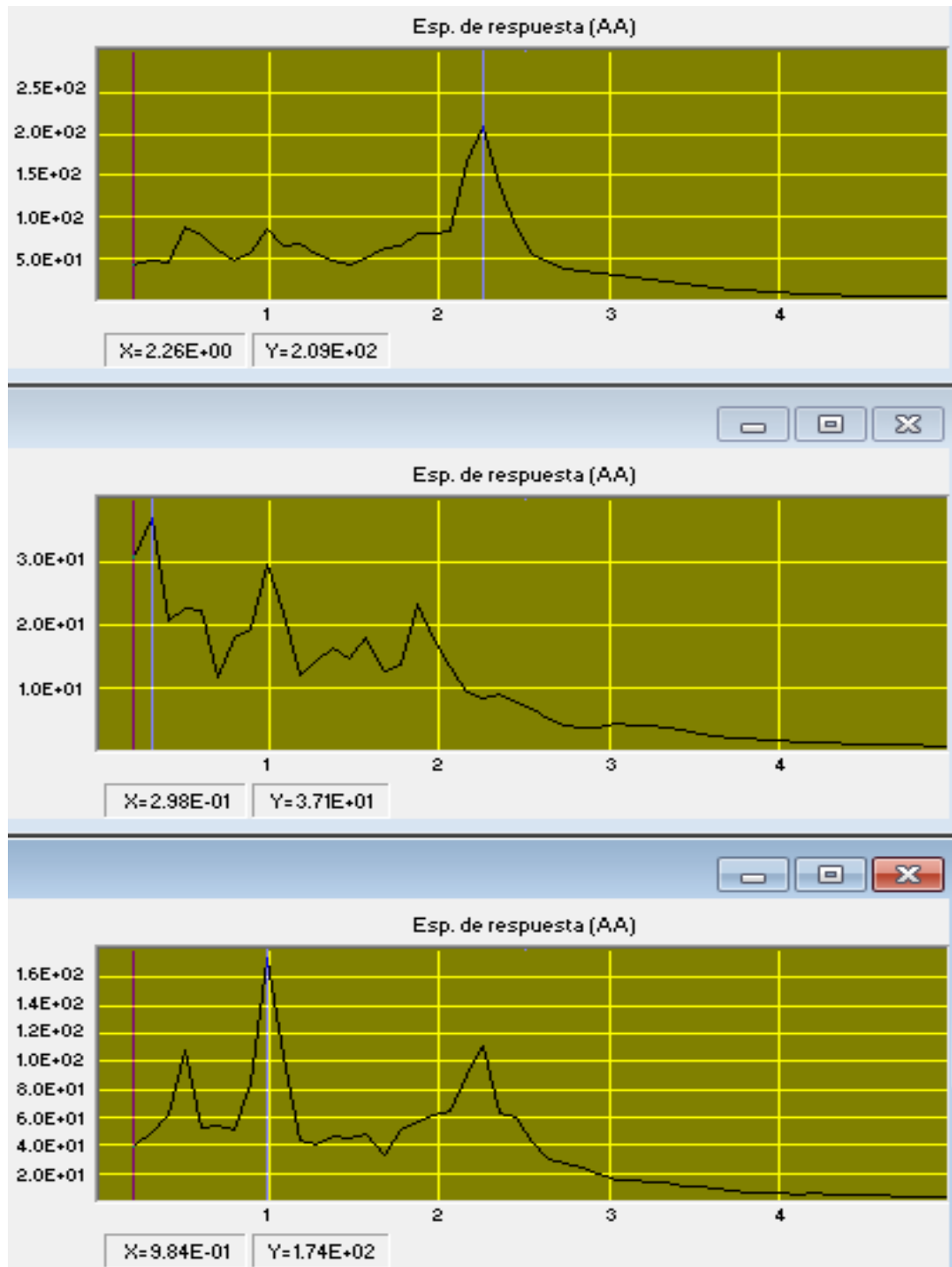
ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)

SEÑAL	F _{MIN}	F _{MAX}	ENERGIA
EO	1.22E-02	1.00E+02	1.75E+03
V	1.22E-02	1.00E+02	1.74E+02
NS	1.22E-02	1.00E+02	2.65E+03

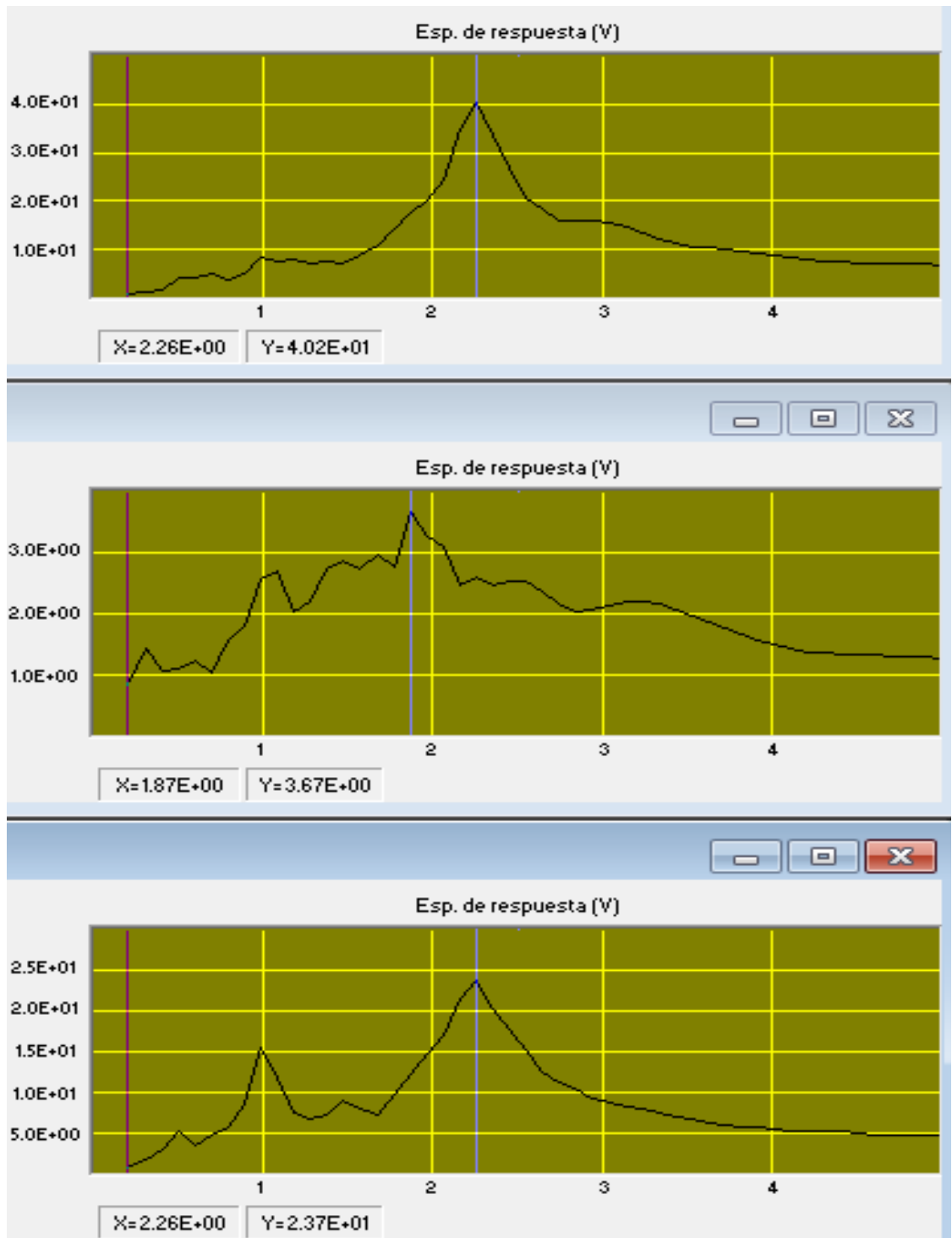
Es energía (por unidad de masa), solo cuando el espectro es de velocidad



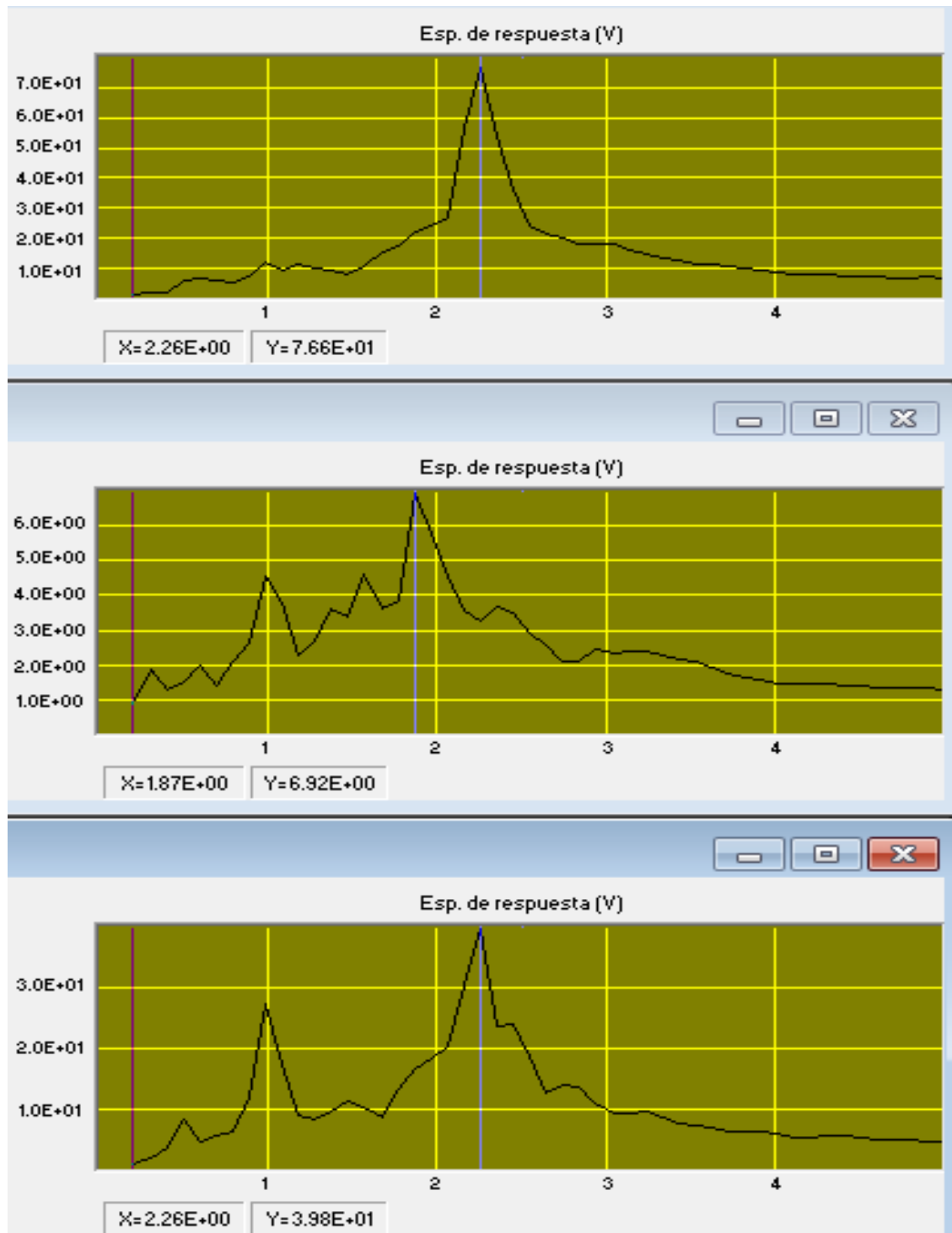
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



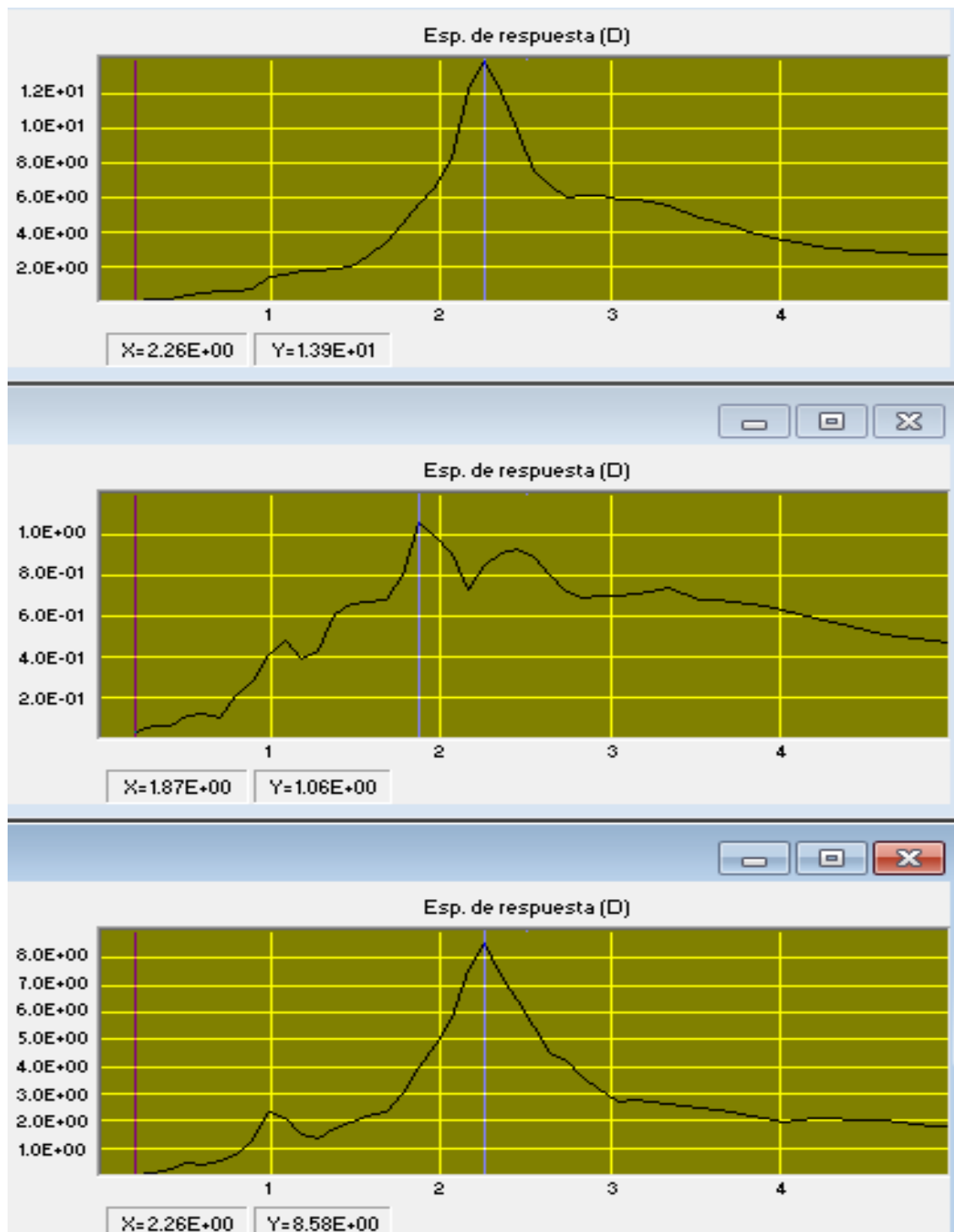
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



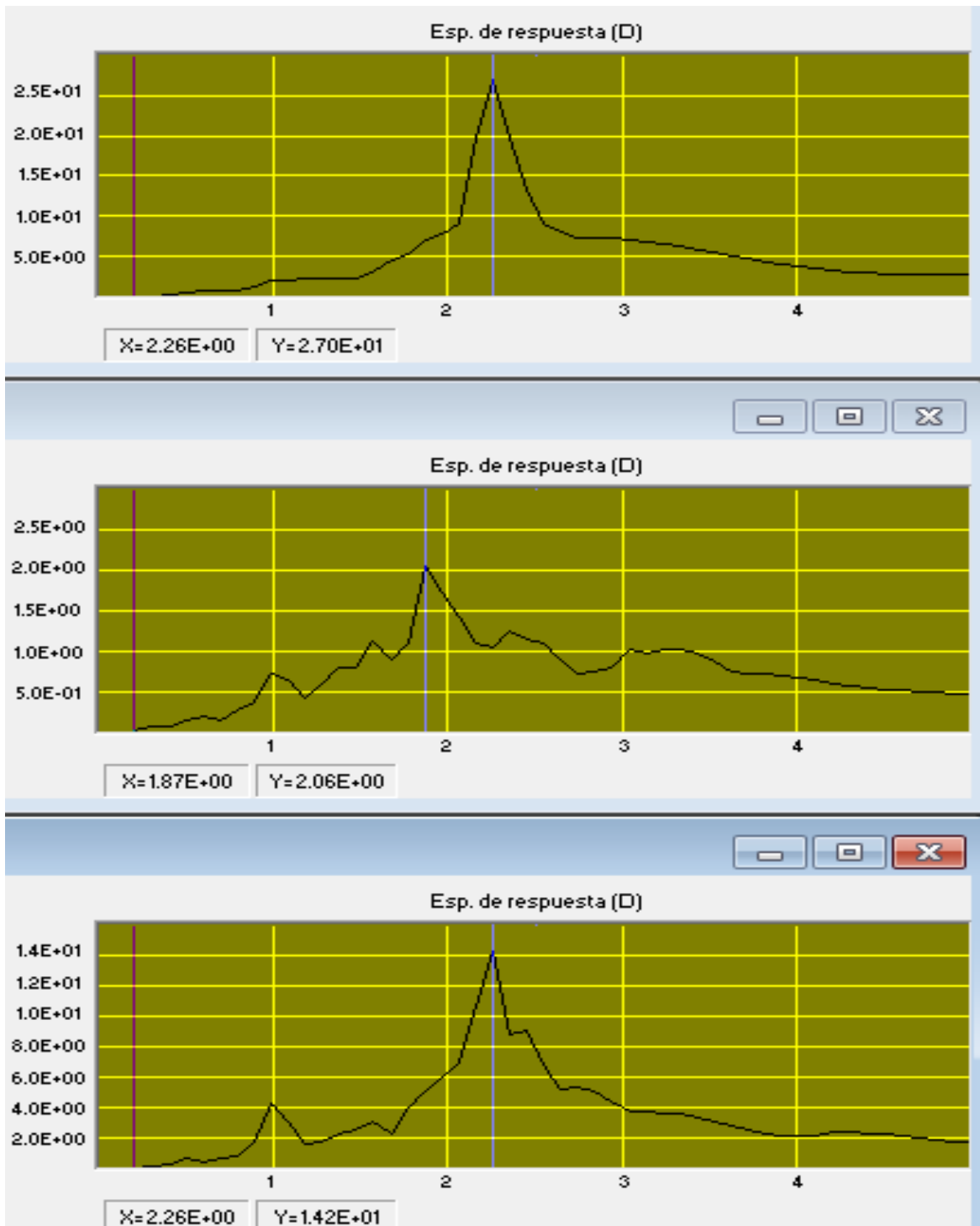
ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



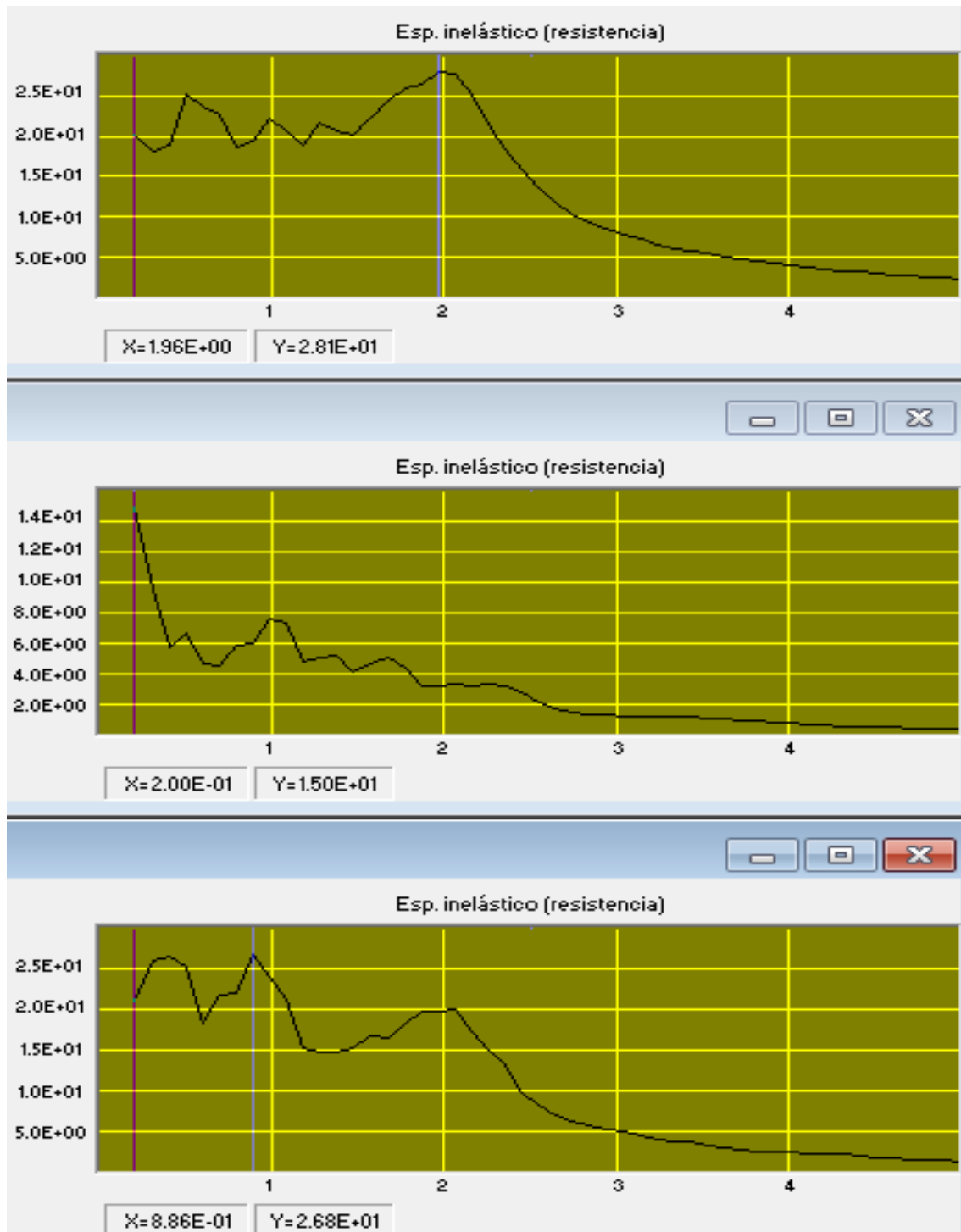
ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



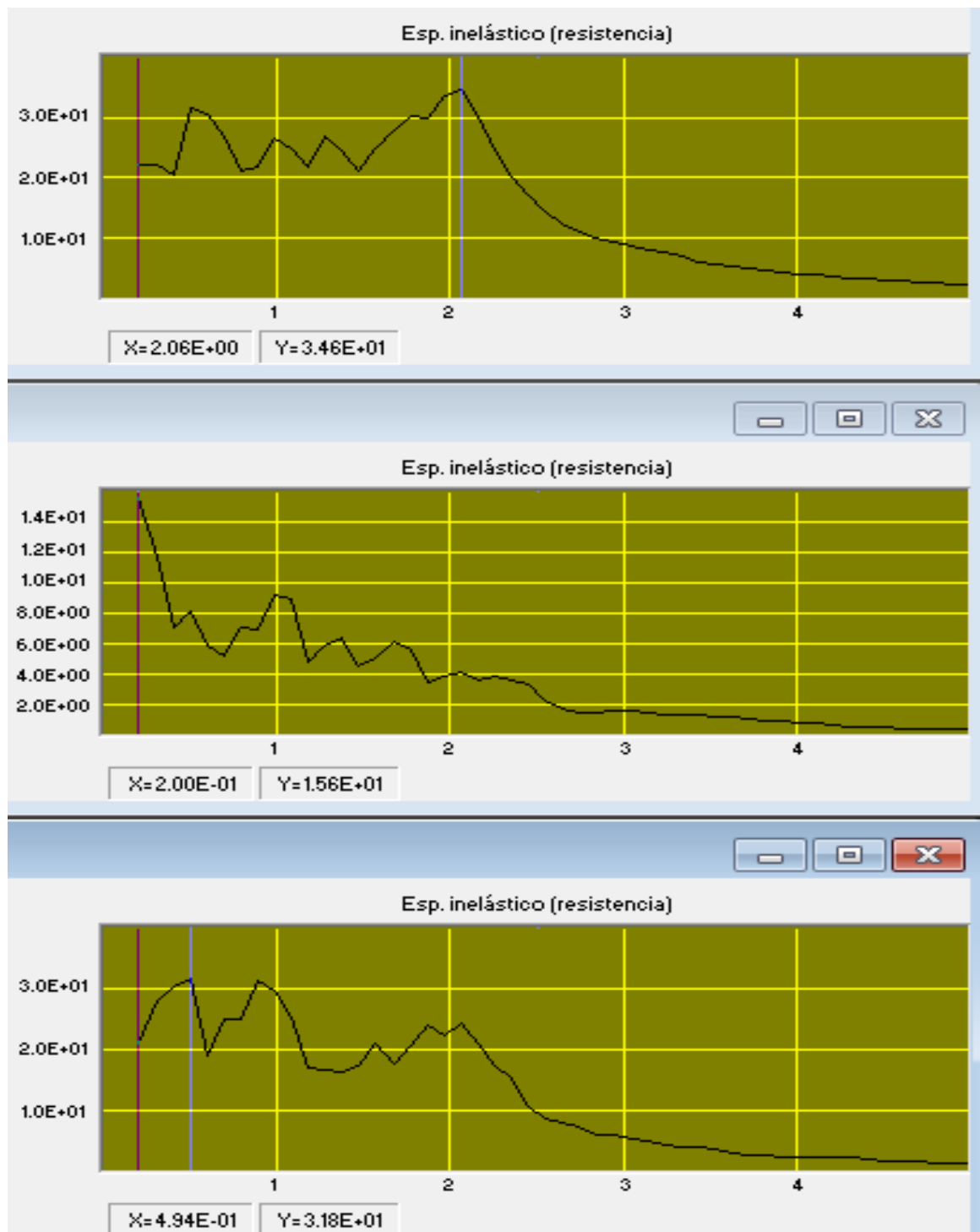
ESPECTRO DE RESPUESTA DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



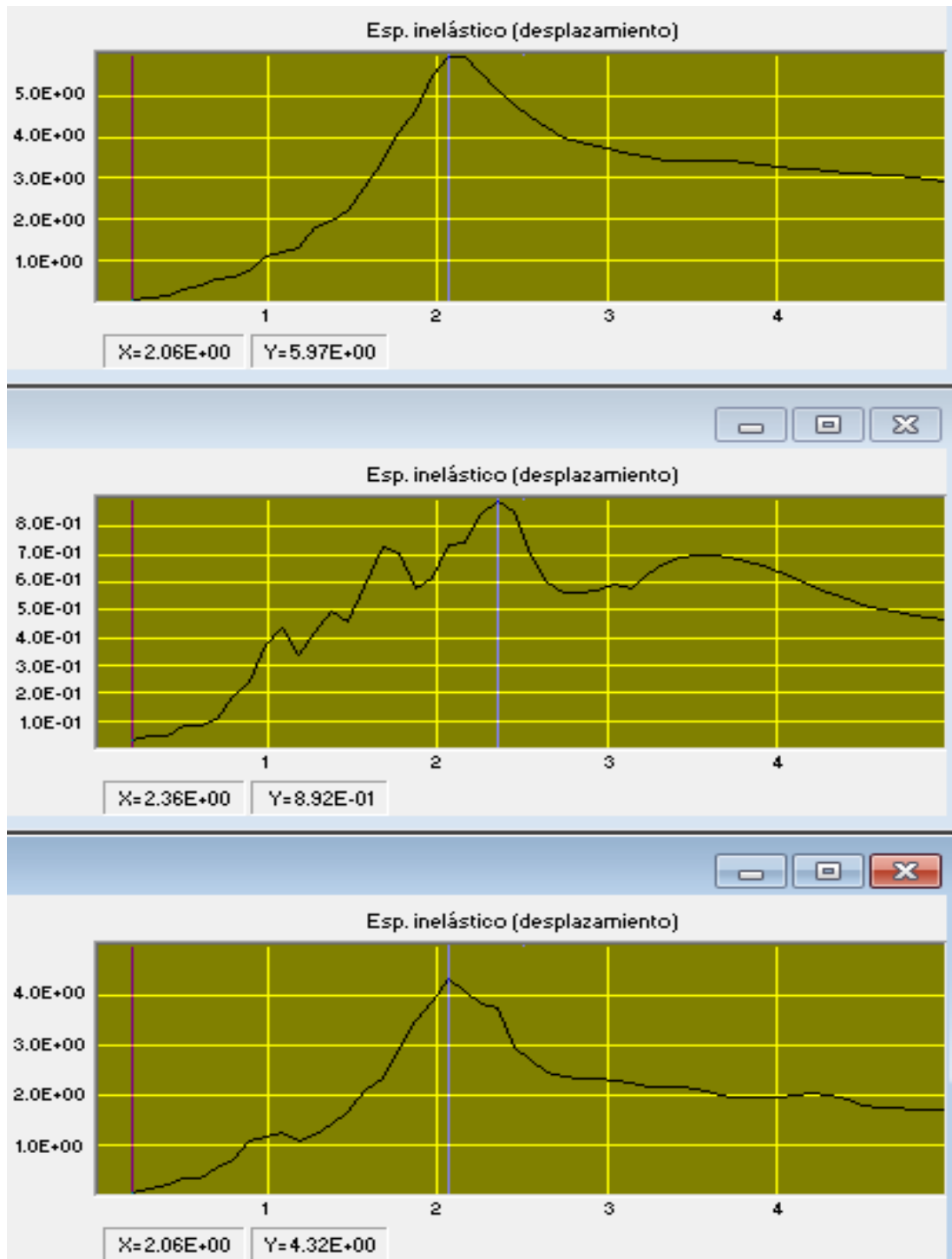
ESPECTRO DE RESPUESTA DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



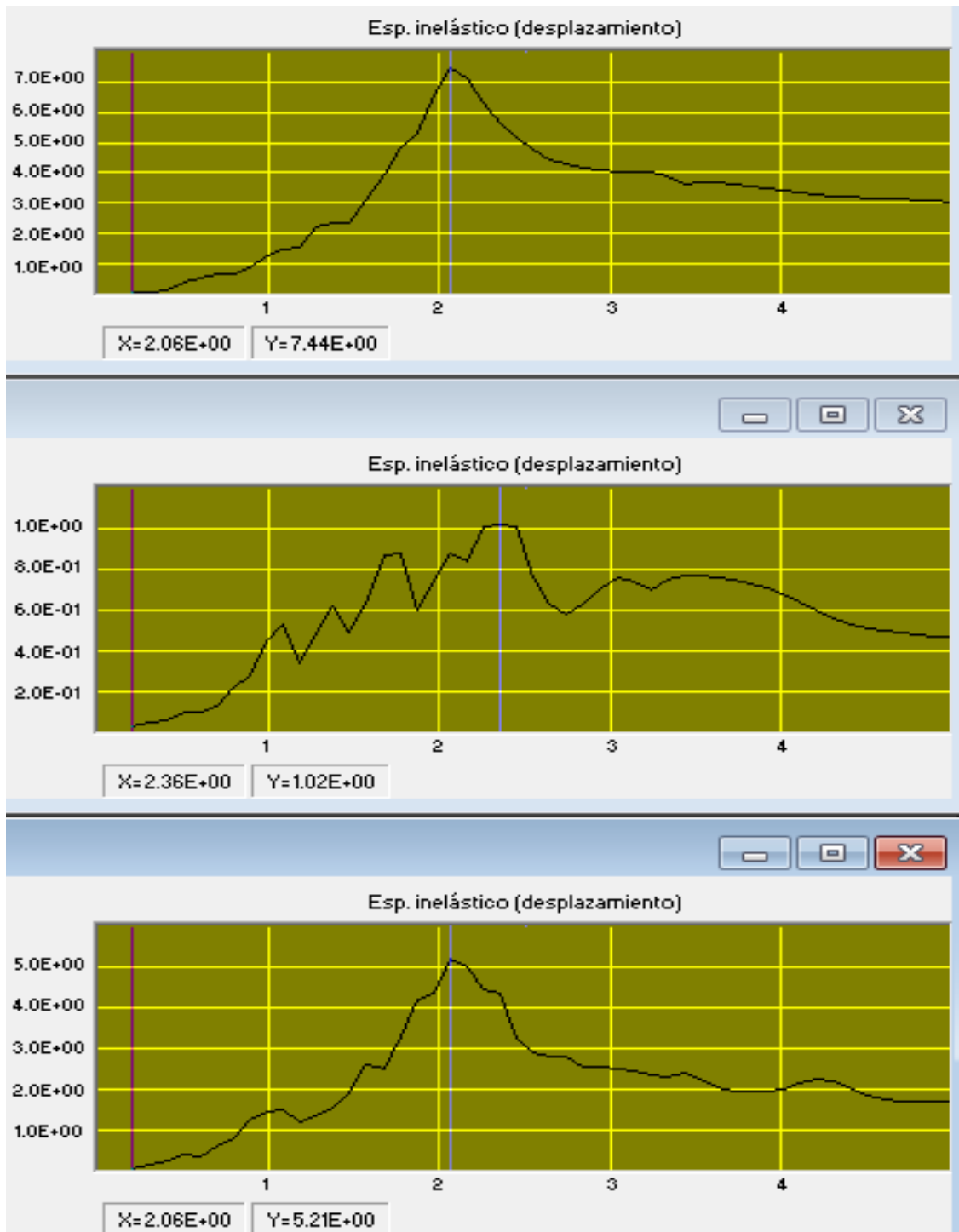
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE RESISTENCIA, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



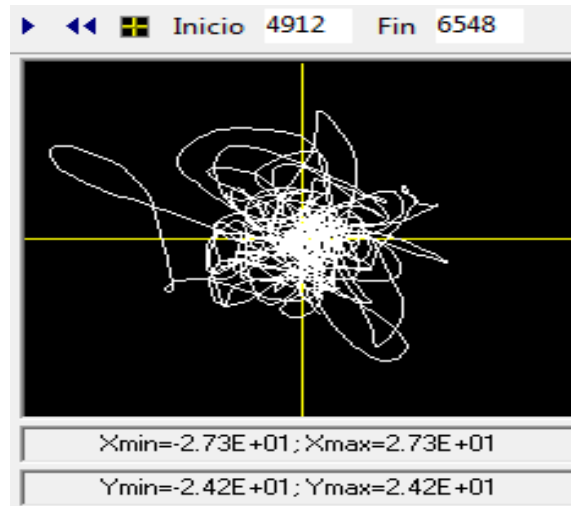
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE RESISTENCIA, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



ESTACION CUAGR-SUPERFICIE, ODOGRAMA SISMO QUETAME 2008

En la Estación CUAGR, se tienen acelerogramas en superficie y en roca, que permiten realizar valoraciones relacionadas con la función de transferencia de los suelos de la Sabana, desde la superficie a la roca, considerando los diferentes estratos. En primer lugar se realizara el cálculo de la propagación unidimensional de ondas de corte a través de la estratigrafía de la estación CUAGR, asumiendo propiedades visco elásticas. Se supone que la columna estratigráfica sobre yace a un semiespacio elástico cuyas propiedades también deben proporcionarse. Para este propósito se cuenta con tres sondeos cuya profundidad máxima se limitó a 250m, hasta llegar a la roca.

Estos sondeos se localizaron en INGEOMINAS (calle 53 con Cra 30), en donde la roca se encontró a 179m; Universidad Agraria (Calle 170 con Autopista Norte), cuyo basamento se encontró a 130m de profundidad y en la Calle 127 con Autopista Norte, en donde la roca se encontró a 190m de profundidad; en los sondeos localizados en el Aeropuerto El Dorado se exploró hasta 250m y no se halló la roca, otro tanto sucedió con la perforación realizada en Tibabuyes (Calle 139 con Av Cundinamarca, donde se exploró hasta 246m y tampoco se encontró la roca.

De otra parte los estudios realizados a la línea de reflexión sísmica, J-78-08, realizada por ECOPETROL, a lo largo de la Autopista Medellín, desde el barrio Quirigua, en Bogotá, hasta el municipio de El Rosal, (24km), de los cuales se tomaron los primeros 8km, que pertenecen a la ciudad, permitieron conocer la profundidad de las diferentes formaciones, como ya se mencionó, además de las velocidades de onda V_p . De igual manera, de la interpretación de las líneas de refracción sísmica, realizada por el “Convenio Interadministrativo 01-93” base de la NSR-98, en donde participaron el INGEOMINAS, UPES y Universidad de los Andes, se evaluaron la velocidad de las ondas P y S a nivel de la roca en los estratos más someros así:

INTERFASE	SECTORES	V _P (m/s)	V _S (m/s)
Roca (Arcillolita)	Sector Norte		
Roca (Arcillolita)	Suba-Compartir	2,280/2,500	
Roca (Arcillolita)	Bosque Calderon	1,800	378
Arenas y gravas muy densas	Sector Sur	2,091	655
Roca-Arenisca	Parque Distrital del Sur	3,301	
Material arcilloso, arcillas húmedas	Sector norte y centro	1,000/1,400	120/280
Sedimentos arcillosos con contenido organico, poco compacto.	Sector Norte	130/450	70/120
Sedimentos arenosos poco compactos	Sector Sur	470/660	167/348

Fuente: INGEOMINAS, UPES, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

También se debe establecer el ángulo de incidencia a objeto de calcular las ondas S_H (ángulo de incidencia nulo) y S_V. El análisis que se hará será el de deconvolución, en donde se supone que el acelerograma en la ventana del Degtra A4, es el campo total en la superficie y el resultado es el campo incidente en la base del depósito. A continuación se muestran las diferentes capas de suelo que conforman esta estación:

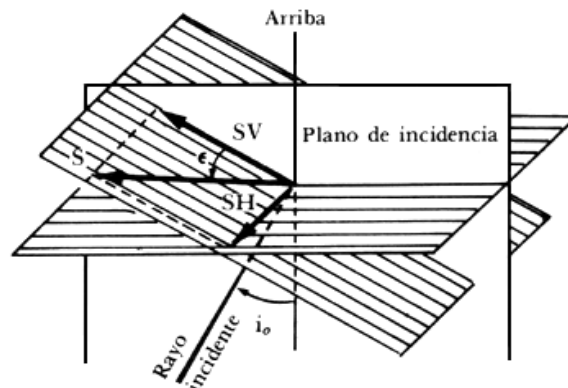
PERFIL GEOTECNICO ESTACION UNIAGRARIA CUAGR, DESDE LA SUPERFICIE HASTA LA ROCA											
No Capa	Material	DESCRIPCION GEOTECNICA	Tramo desde (m)	Tramo hasta (m)	Esp Estrato (m)	wn (%)	e _o	IP	Peso unitario gr/cm ³	Vref m/s	Vs modelado m/s
1	CH	Arcilla	0.00	5.00	5.00	100	2.494	125	1.55	158	124
2	CH	Arcilla	5.00	10.00	5.00	160	3.934	200	1.40	140	127
3	CH	Arcilla	10.00	17.00	7.00	160	3.934	200	1.40	140	132
4	CH	Arcilla	17.00	24.00	7.00	150	3.694	195	1.45	140	138
5	CH	Arcilla	24.00	28.00	4.00	120	2.974	150	1.50	140	142
6	CH	Arcilla orgánica	28.00	30.00	2.00	200	4.894	265	1.10	140	144
7	CH	Arcilla	30.00	35.00	5.00	150	3.694	195	1.40	140	145
8	CL	Arcilla arenosa	35.00	37.50	2.50	80	2.014	100	1.60	158	166
9	CH	Arcilla	37.50	45.00	7.50	130	3.214	170	1.50	140	150
10	CH	Arcilla	45.00	56.50	11.50	100	2.494	125	1.55	158	176
11	CH	Arcilla	56.50	65.00	8.50	60	1.534	70	1.65	158	182
12	CH	Arcilla orgánica	65.00	67.00	2.00	160	3.934	210	1.30	140	163
13	CL	Arcilla arenosa	67.00	85.50	18.50	50	1.294	40	1.75	158	190
14	CH	Arcilla	85.50	97.00	11.50	50	1.294	55	1.70	158	198
15	CS	Arcilla fina	97.00	115.00	18.00	30	0.814	25	1.75	265	342
16	CS	Arcilla fina	115.00	130.00	15.00	25	0.694	20	1.80	265	353

Tomado del estudio del DPAA: "Procesamiento e interpretación de Señales de la RAB"

Es frecuente en las rocas que la velocidad V_s, sea aproximadamente igual $\frac{V_P}{\sqrt{3}}$, relación que se conoce como condición de Poisson. Las ondas S, llegan después de las ondas P y por esta razón se suele llamarse onda Secundaria, con la peculiaridad de que no se propaga por los líquidos, en razón a que estos no soportan esfuerzos de corte. El desplazamiento de las partículas en el terreno, durante el paso de la onda, puede ser en cualquier dirección

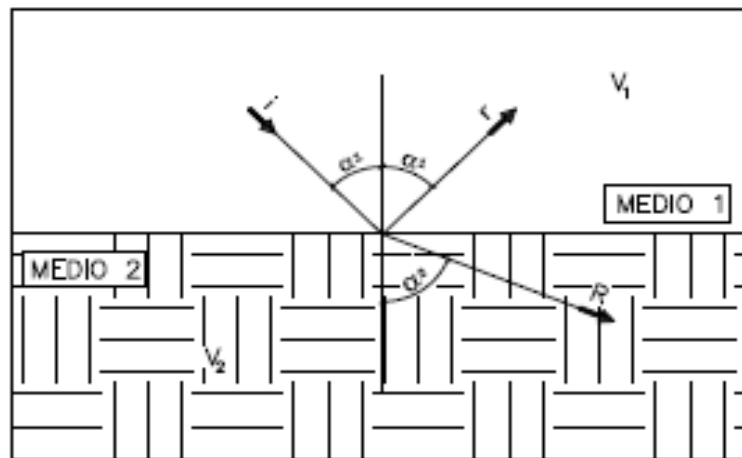
perpendicular a la de propagación, en ocasiones también puede desplazarse en una sola dirección, recibiendo el nombre ondas polarizadas.

La componente vertical de la onda S, se expresa por S_V , mientras que la componente horizontal se indica por S_H . Usualmente las ondas tipo S tienen una mayor amplitud, que las ondas tipo P, y por esta razón se siente más fuertemente. En el gráfico adjunto se muestran las componentes de las ondas S.



La onda S y sus componentes S_V y S_H , Fuente: Nava, 1998

Cuando una onda de cuerpo, incide sobre una superficie, que la separa de otro medio, con diferentes propiedades elásticas, parte de la energía es transmitida al segundo medio y la otra restante es reflejada.



i rayo incidente, r rayo reflejado, R rayo refractado. Fuente: Nava, 1998, editada por el autor

La relación de los ángulos incidentes, α_1 y el ángulo refractado α_2 , con las velocidades de cada uno de los medios, se basa en la ley de Snell y tiene por definición la siguiente expresión:

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

Donde V_1 es la velocidad de onda, P o S, en el medio 1 y V_2 la velocidad en el medio 2. Aplicando la relación anterior, permite analizar los rayos sísmicos en las diferentes discontinuidades, con las que se presentan en la tierra. La ley de Snell, predice que si un rayo, pasa de un medio de menor velocidad a otro de mayor velocidad, se aleja de la normal; mientras que si pasa de un medio de mayor a otro de menor velocidad, se acercará a ella. Específicamente, cuando sea $\alpha_2=1$, el ángulo de refracción es de 90° y el rayo, llamado críticamente refractado, viaja por el medio inferior, paralelamente a la interface.

Una fuente sísmica en un medio conformado por una capa plana o estrato geológico, sobre un semiespacio, en un punto muy cercano al epicentro, se observaría el arribo de la onda P_g , seguida por la llegada de la onda S_g , (cuando su ángulo de partida es hacia arriba de la horizontal, la onda P se denota por P_g y la onda S se denota por S_g , a la diferencia de tiempo entre la llegada de la una a la otra se le llama peface y normalmente se refieren a ella con el termino t_{sp} , que se relaciona con la distancia D a la fuente mediante la siguiente ecuación:

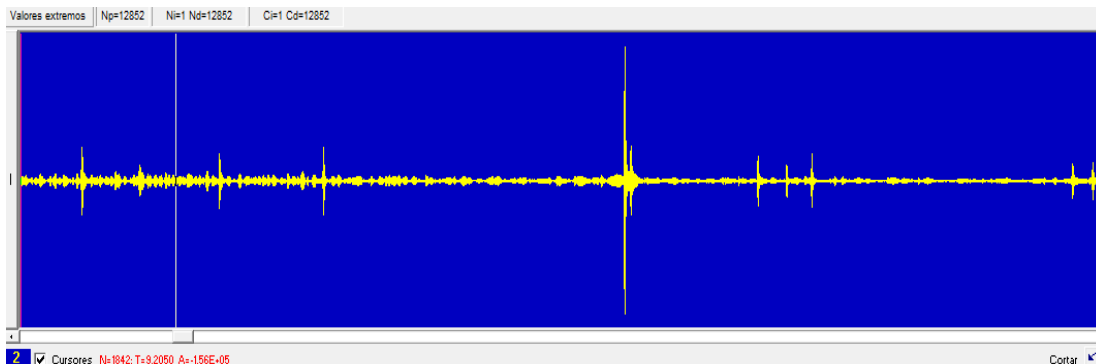
$$D = \frac{t_{sp} V_p V_s}{(V_p - V_s)}$$

Por lo tanto, para una gran cantidad de lugares en la Tierra (donde se cumple la condición de Poisson y V_p es aproximadamente igual a 6 km/s), si contamos el número de segundos entre las llegadas de las ondas P y S, y los multiplicamos por 8.2, obtendremos la distancia a la fuente en kilómetros.

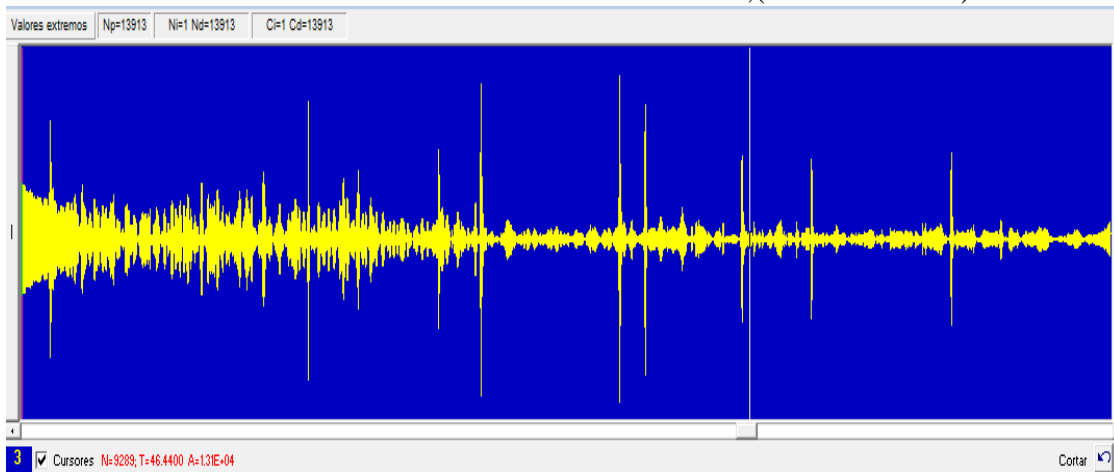
Además de los rayos P_g y S_g , llegan también los rayos reflejados en la interface. Estos rayos P, reflejados como P o como S y los rayos S reflejados como S o como P, siempre llegan después de P_g , pues tienen que recorrer un camino mayor, y parte de ese camino puede ser recorrido, en calidad de S.

En los puntos más lejanos del epicentro, se observa que la onda P, críticamente refractada en alguna interface, llamada P_r , llega antes que P_g . La razón de que ocurra, es porque la trayectoria de P_r es más larga, pero se propaga más rápidamente. El primer arribo, denominado F_A , será el correspondiente a P_r y si existe otro medio, aún más rápido, bajo la capa en que viaja P_r , puede dar lugar, a que otra onda P_r , para distancias aún más lejanas, llegue más rápidamente. Después de la llegada de las ondas P y S, la señal en el sismograma va disminuyendo, esta parte de la "cola" de la señal, se llama coda, y se debe a energía sísmica "dispersa" que llega hasta el sensor después de haber sido reflejada por las heterogeneidades propias del terreno. La forma como mengua la coda permite evaluar la atenuación del terreno.

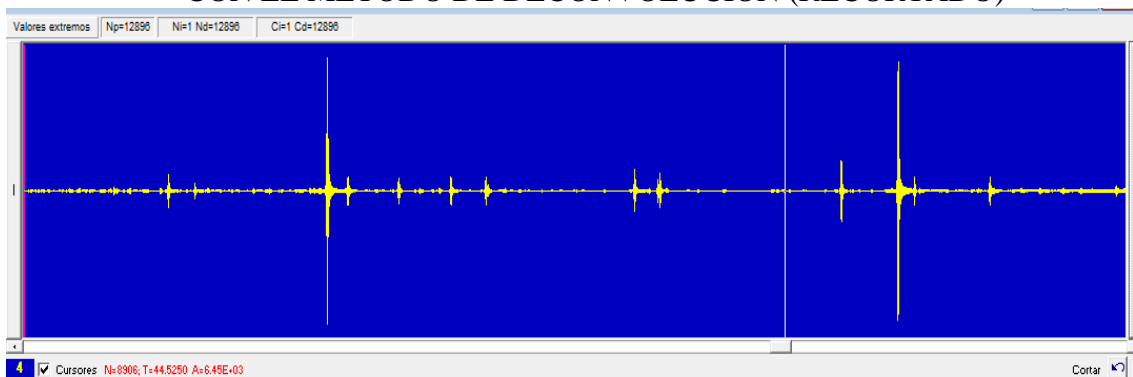
4.1 ANALISIS DE LOS ACELEROGRAMAS EN ROCA Y PROCESO DE DECONVOLUCION POR MEDIO DEL PROGRAMA DEGTRA A4.



ACELEROGRAMA EN ROCA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, NS (2) CON CORRECCION DE LINEA BASE Y FILTRO PASABANDA PROCESADO CON EL METODO DE DECONVOLUCION ,(RECORTADO)



ACELEROGRAMA EN ROCA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, EO (3) CON CORRECCION DE LINEA BASE Y FILTRO PASABANDA PROCESADO CON EL METODO DE DECONVOLUCION (RECORTADO)

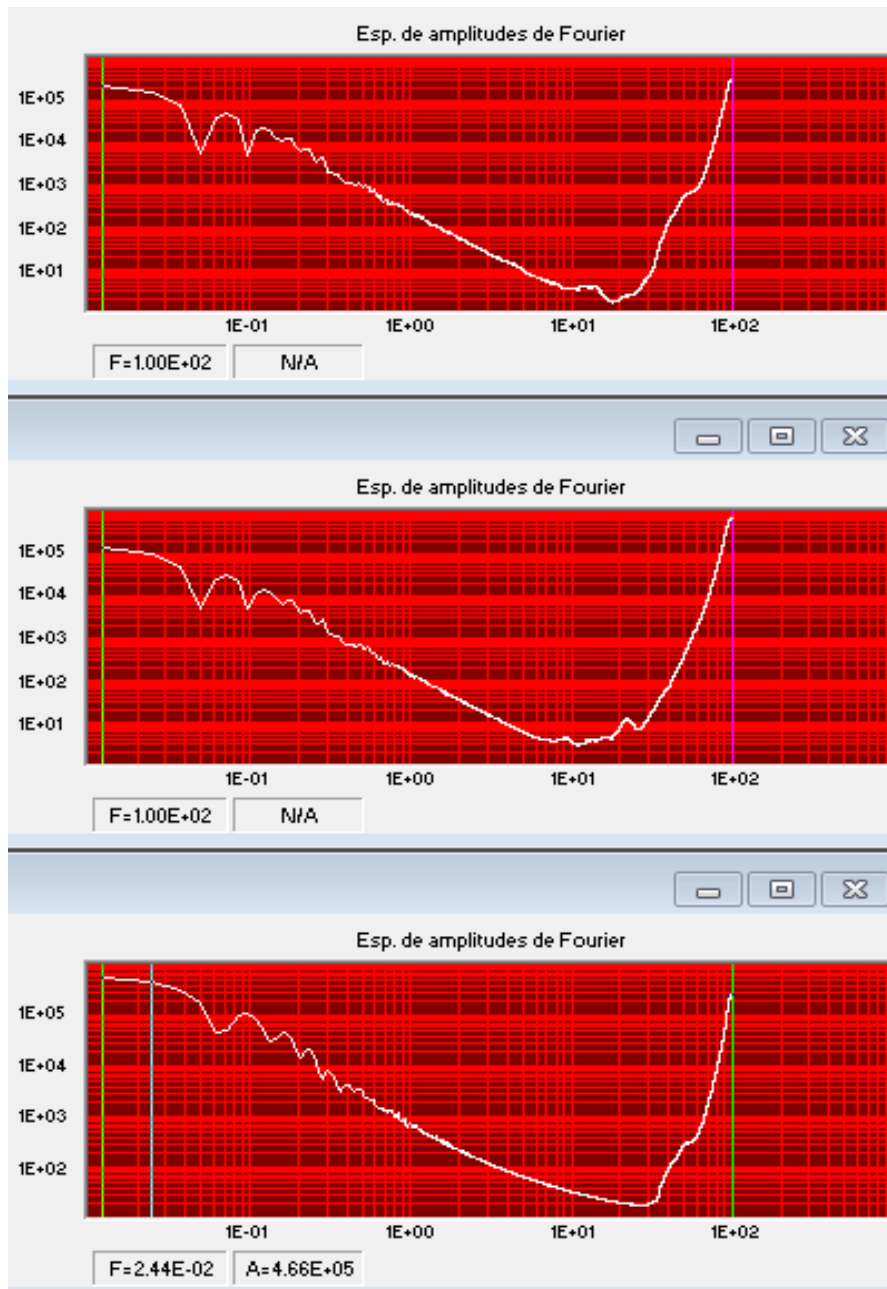


ACELEROGRAMA EN ROCA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, V (4) CON CORRECCION DE LINEA BASE Y FILTRO PASABANDA PROCESADO CON EL METODO DE DECONVOLUCION, (RECORTADO)



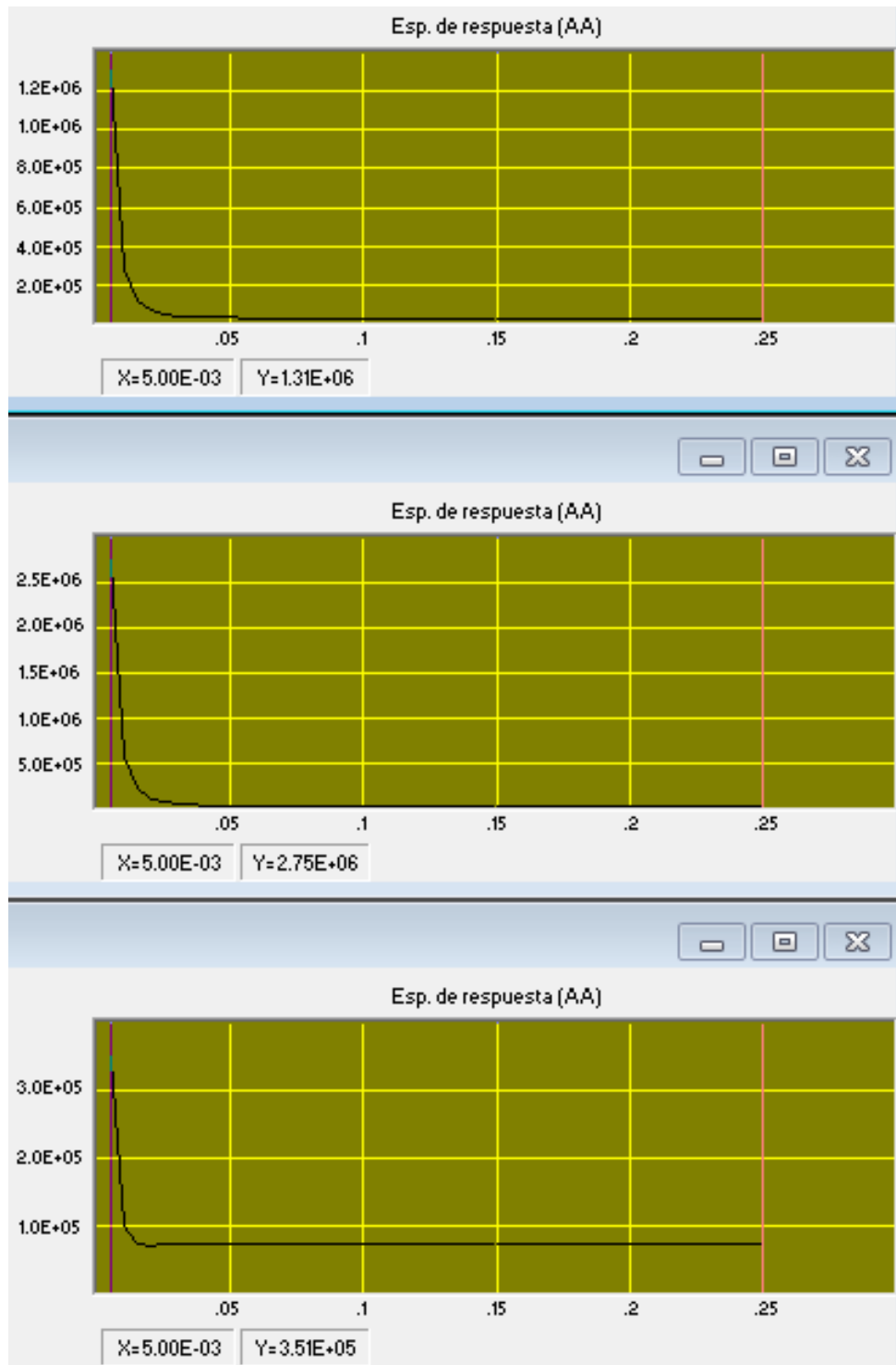
INTENSIDAD DE ARIAS, ESTACION CUAGR-ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)
DECONVOLUCION-DEGTRA A4

SEÑAL	INTENSIDAD	DURACION	PTO INICIAL	PTO FINAL
EO	1.13E+12	5.59E+01	149	11334
V	8.03E+12	3.35E+01	3546	10243
NS	1.47E+12	4.50E+01	738	9742
La intensidad debe multiplicarse por $\pi/2g$				

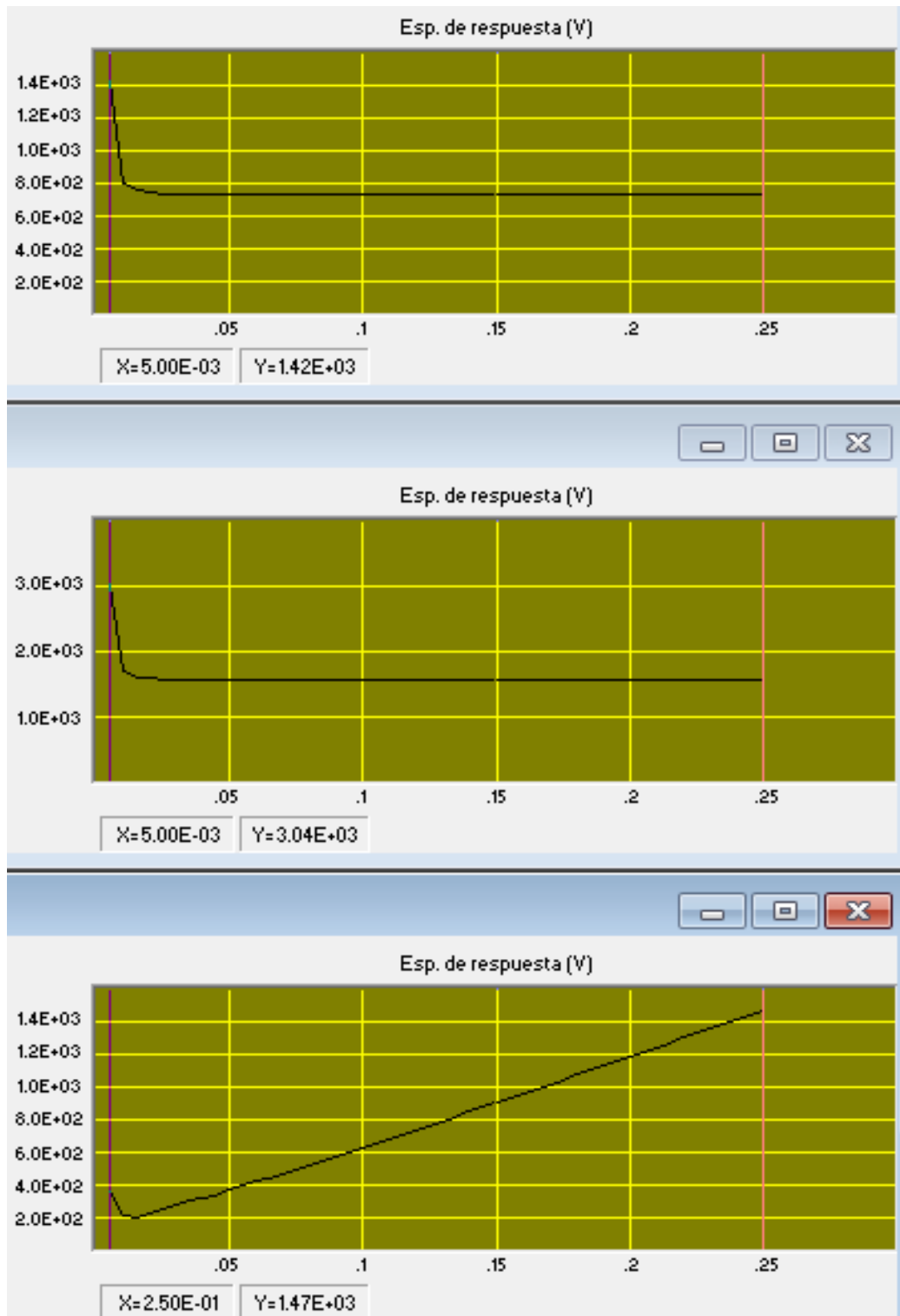


ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, ESTACION CUAGR-ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), DECONVOLUCION- DEGTRA A4

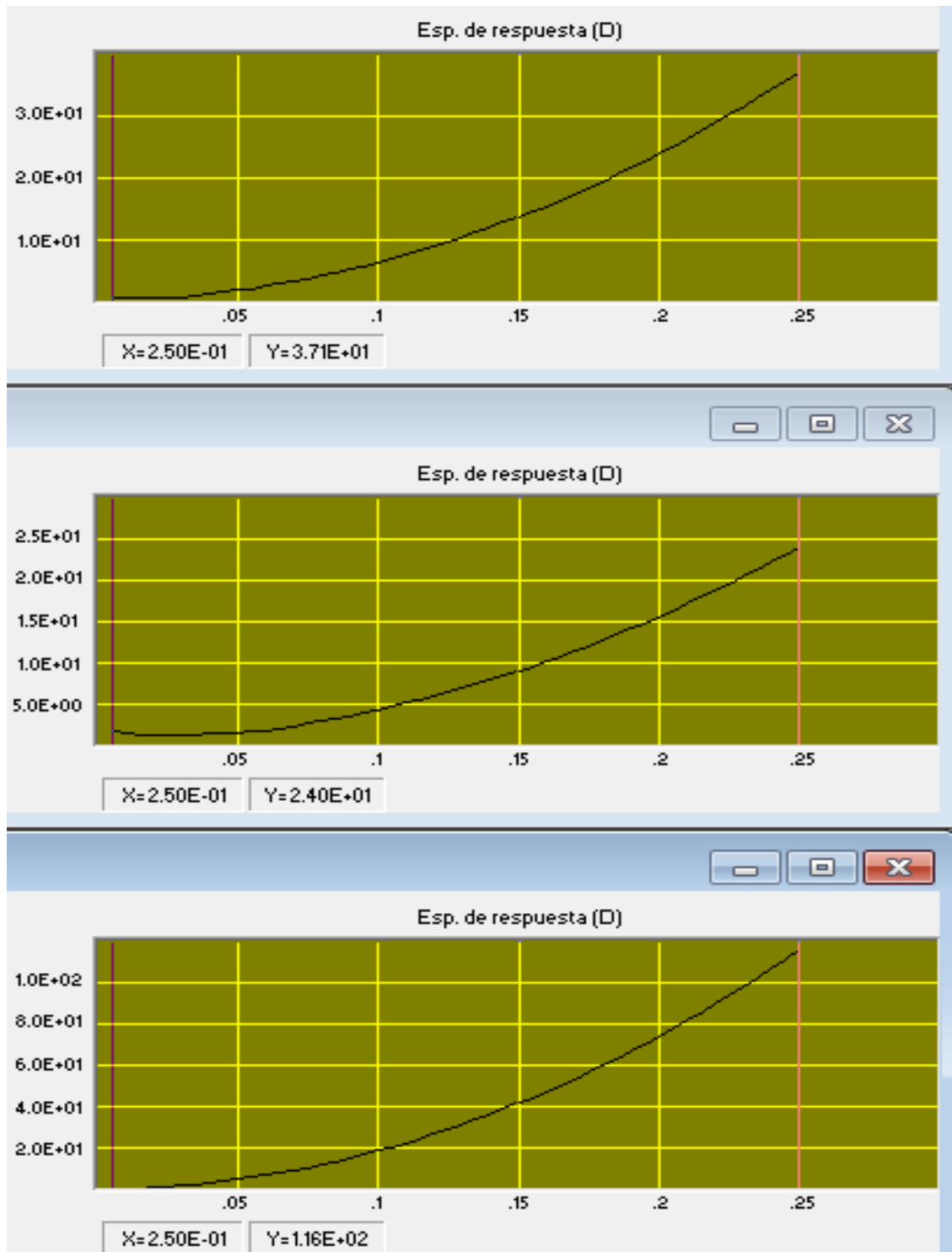
SEÑAL	F_{MIN}	F_{MAX}	ENERGIA
EO	$1.22E-02$	$1.00E+02$	$9.40E+11$
V	$1.22E-02$	$1.00E+02$	$7.20E+12$
NS	$1.22E-02$	$1.00E+02$	$1.25E+12$
Es energía (por unidad de masa), solo cuando el espectro es de velocidad			



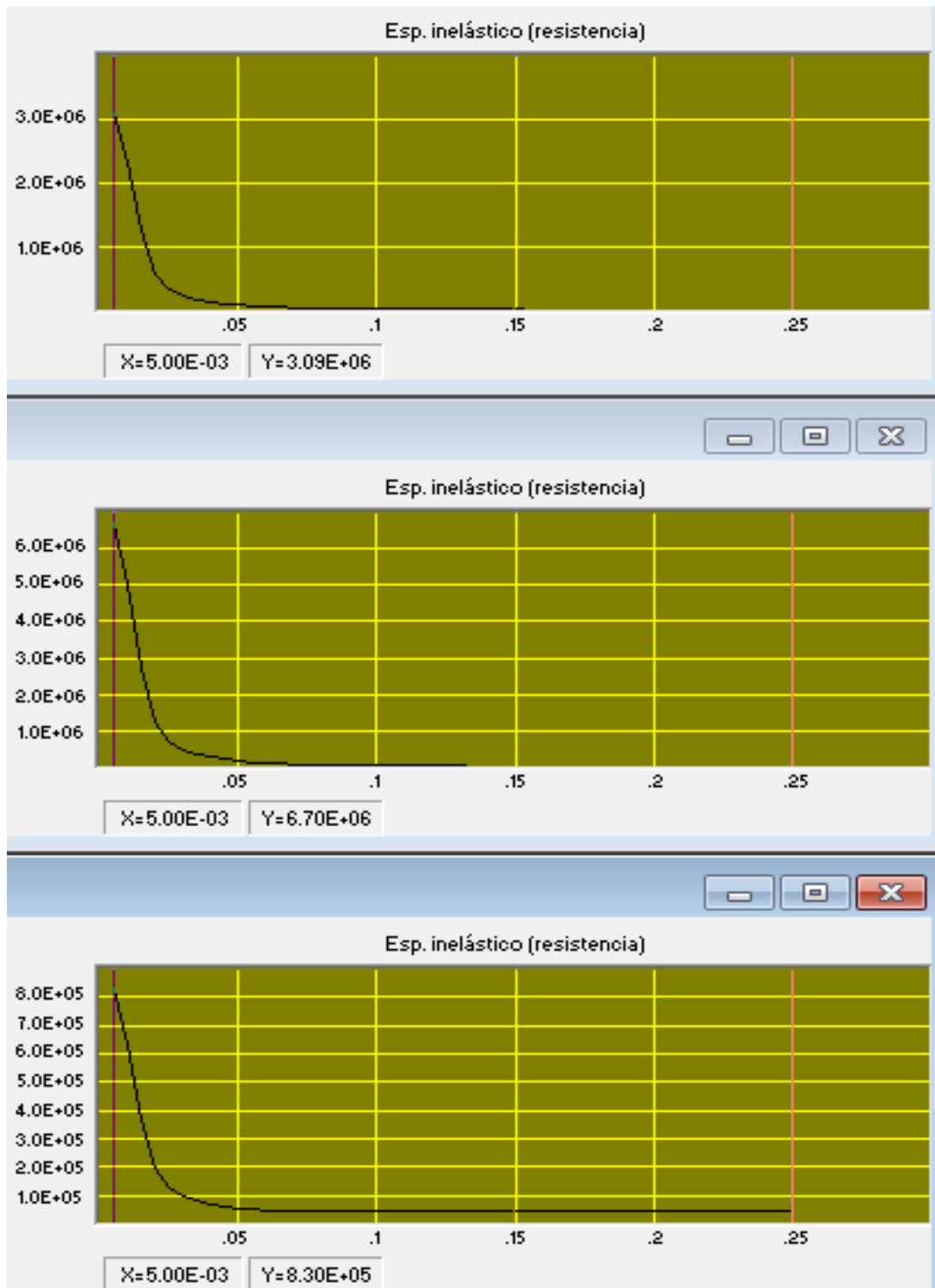
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CUAGR-ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO, DECONVOLUCION-DEGTRA A4



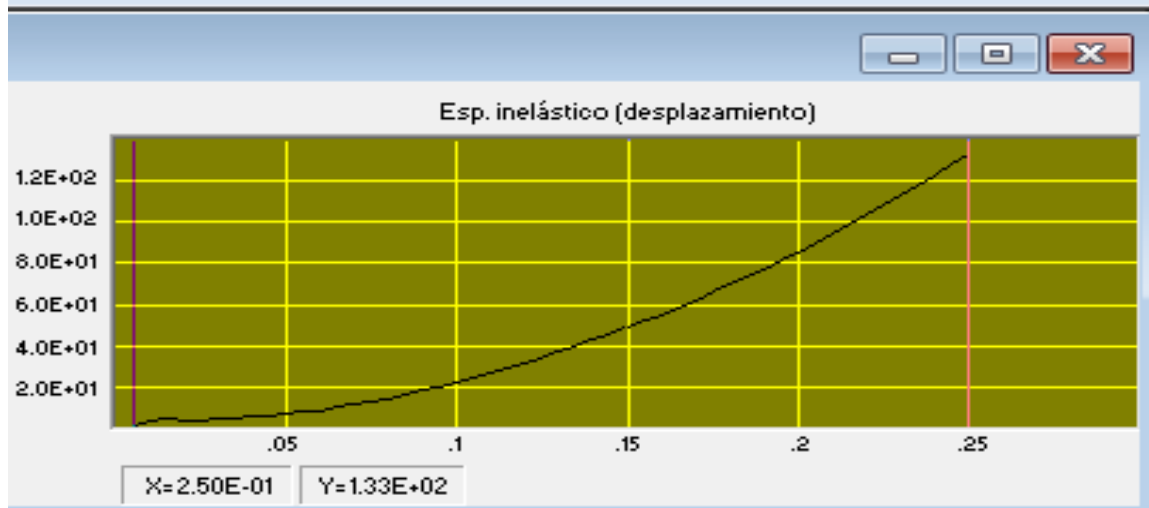
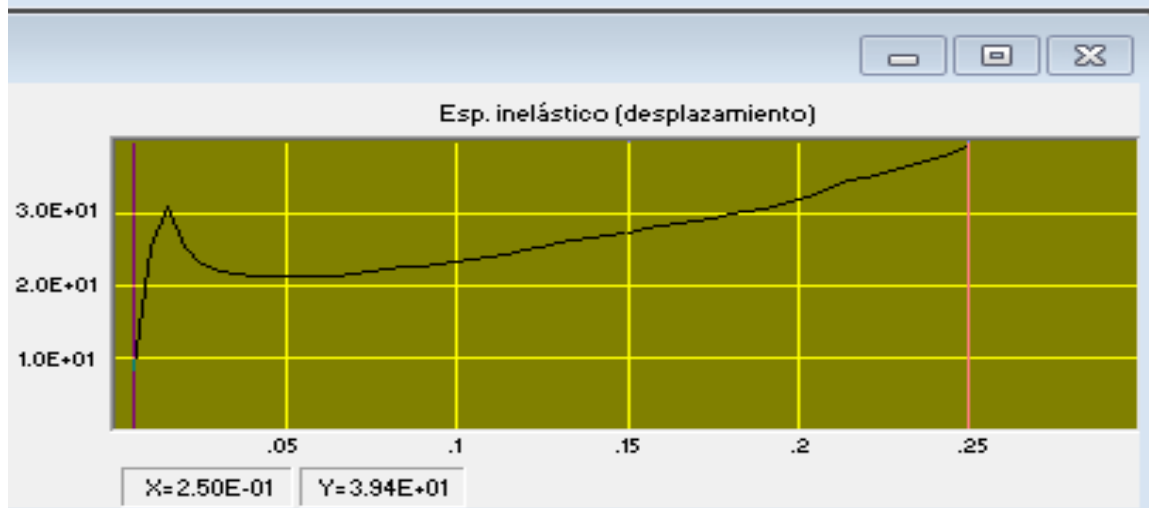
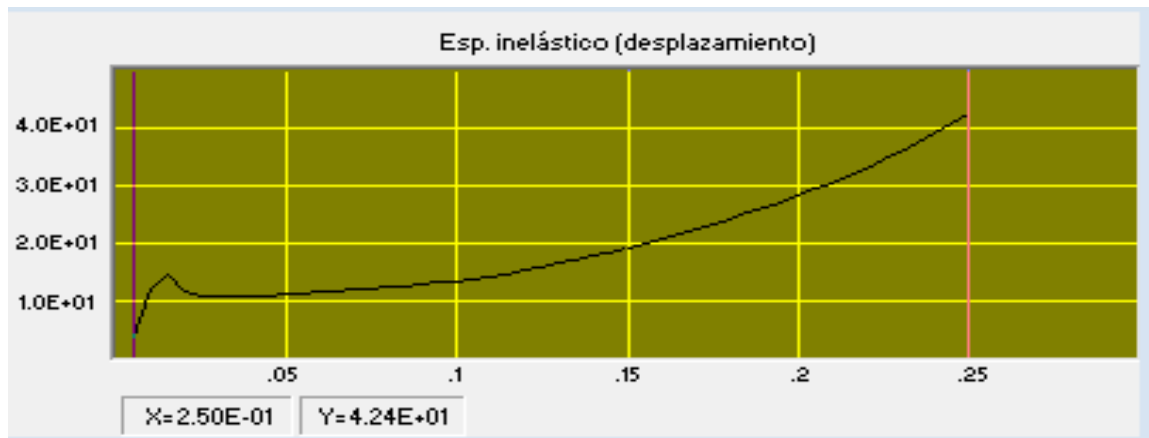
ESPECTRO DE RESPUESTA DE VELOCIDAD, ESTACION CUAGR-ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO, DECONVOLUCION-DEGTRA A4



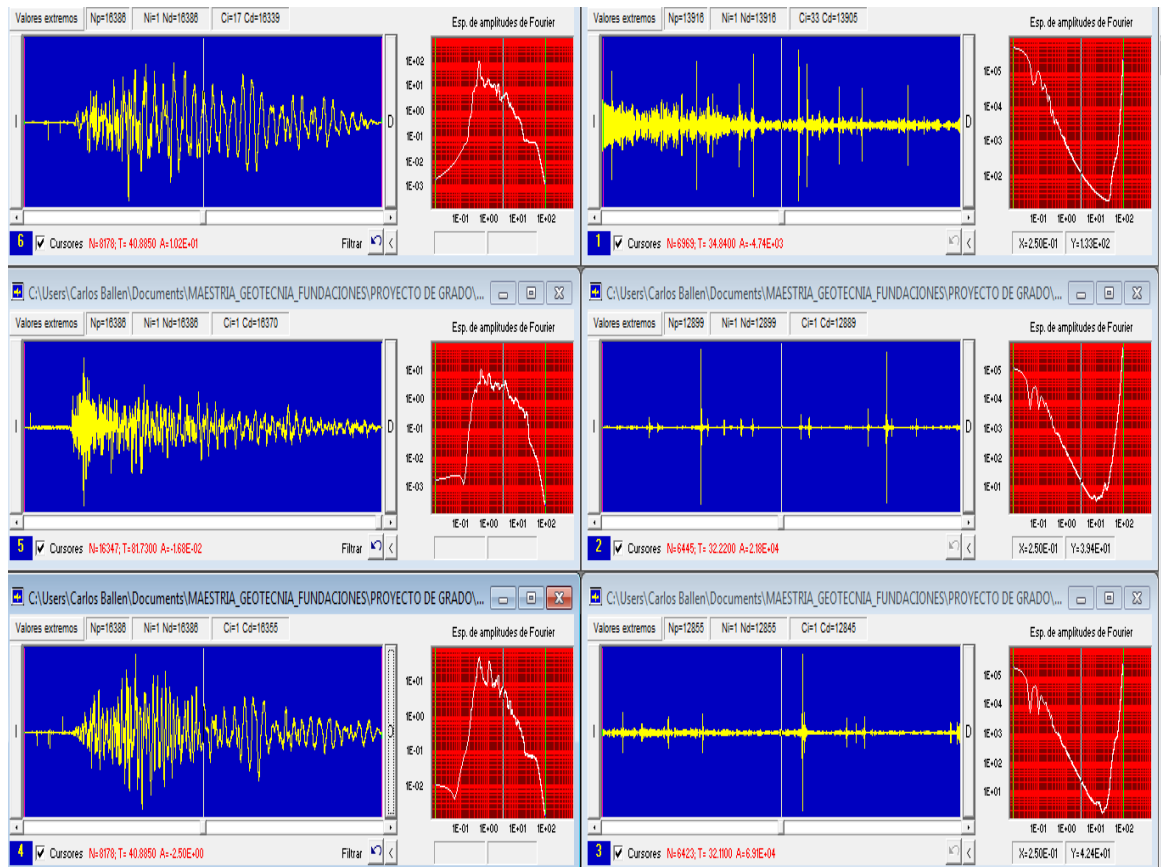
ESPECTRO DE RESPUESTA DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUAGR-ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO, DECONVOLUCION



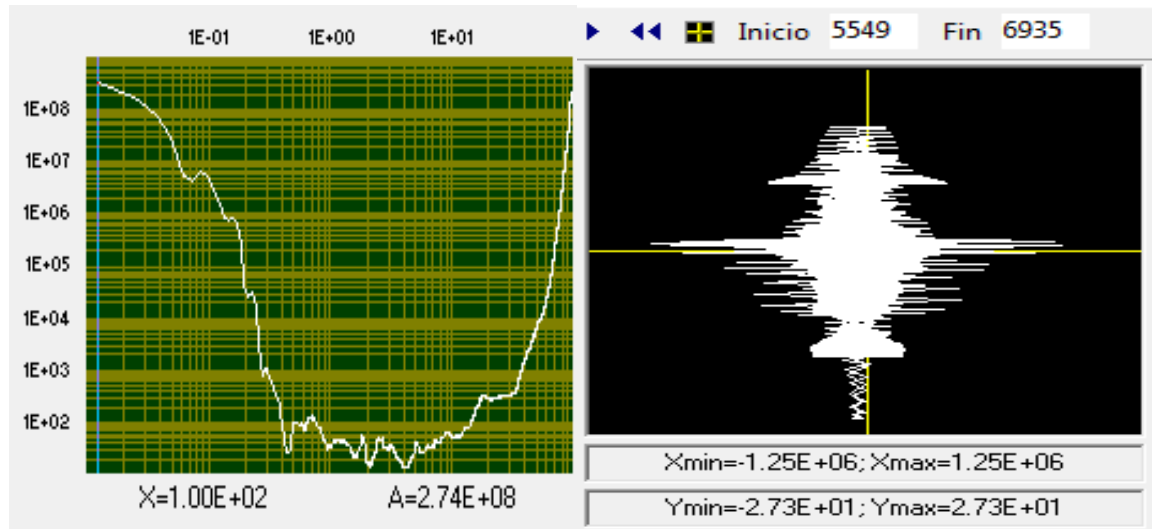
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE RESISTENCIA, ESTACION CUAGROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO, DECONVOLUCION



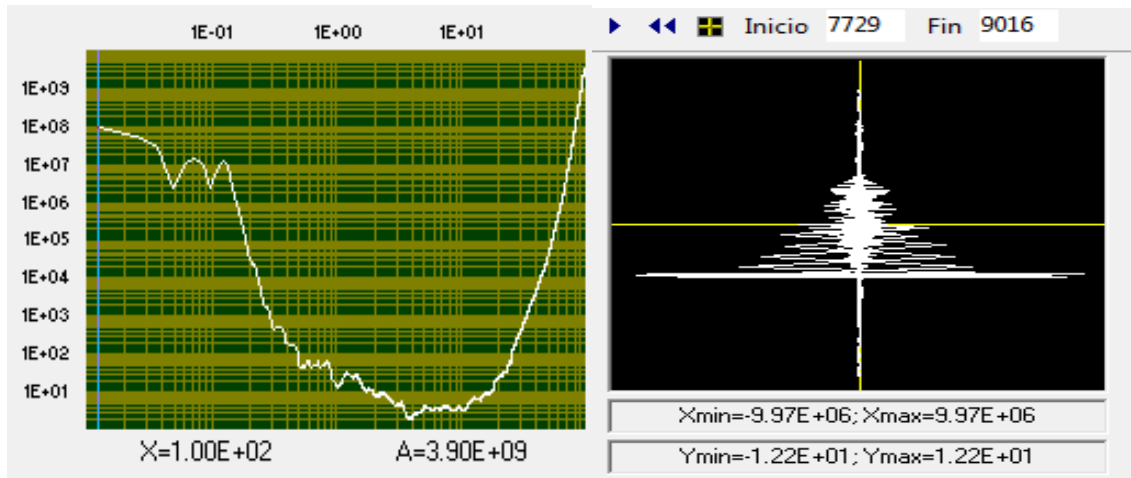
ESPECTRO DE RESPUESTA INELASTICO DE DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUAGR-ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO, DECONVOLUCION



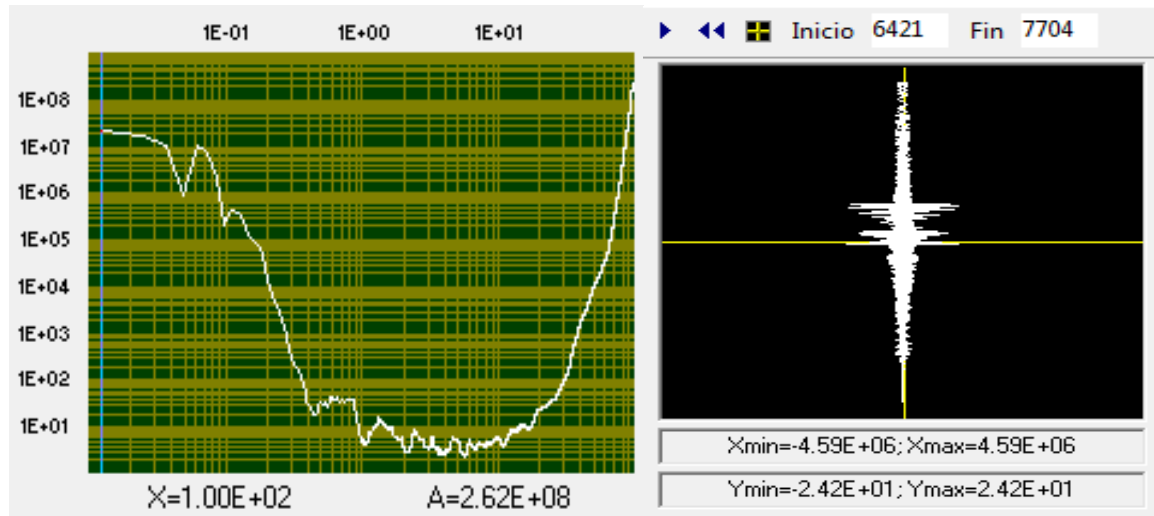
ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, ESTACION CUAGR-ROCA, CALCULO DE FUNCIONES DE TRANSFERENCIA



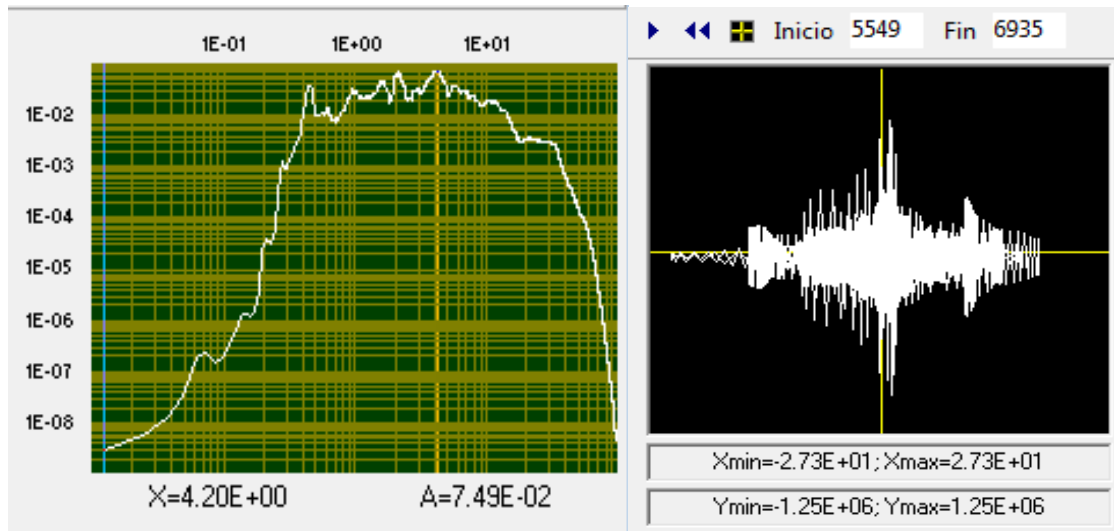
FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, EO (ROCA)/EO(SUPERFICIE) Y ODOGRAMA



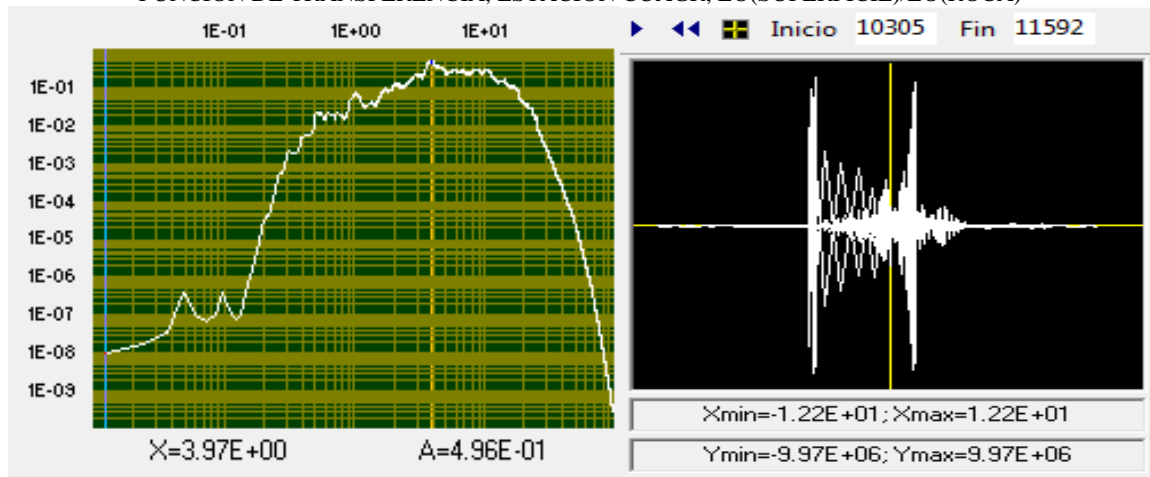
FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, V(ROCA)/V(SUPERFICIE) Y ODOGRAMA



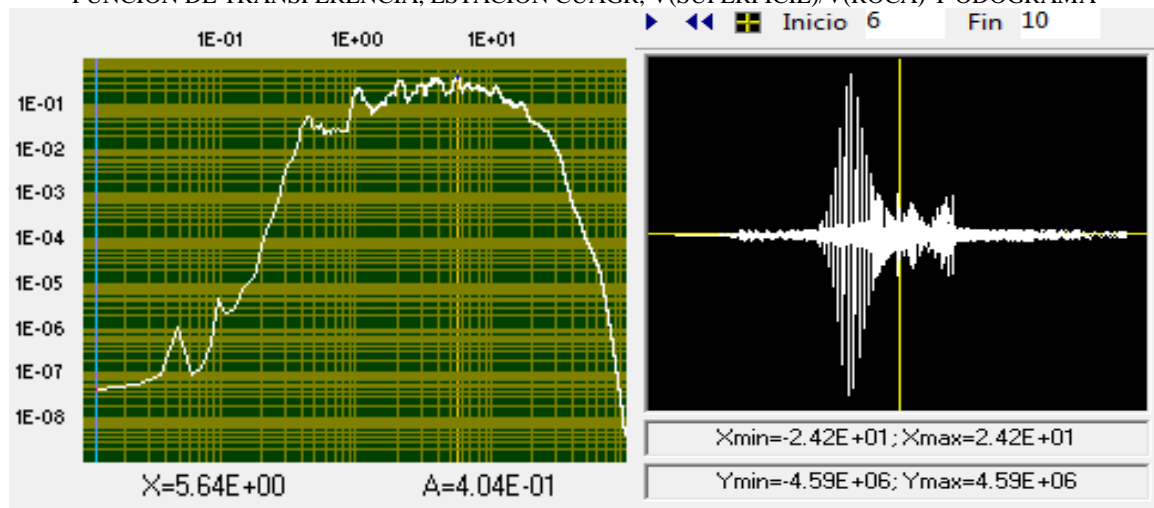
FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, NS(ROCA)/NS(SUPERFICIE) Y ODOGRAMA



FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, EO(SUPERFICIE)/EO(ROCA)

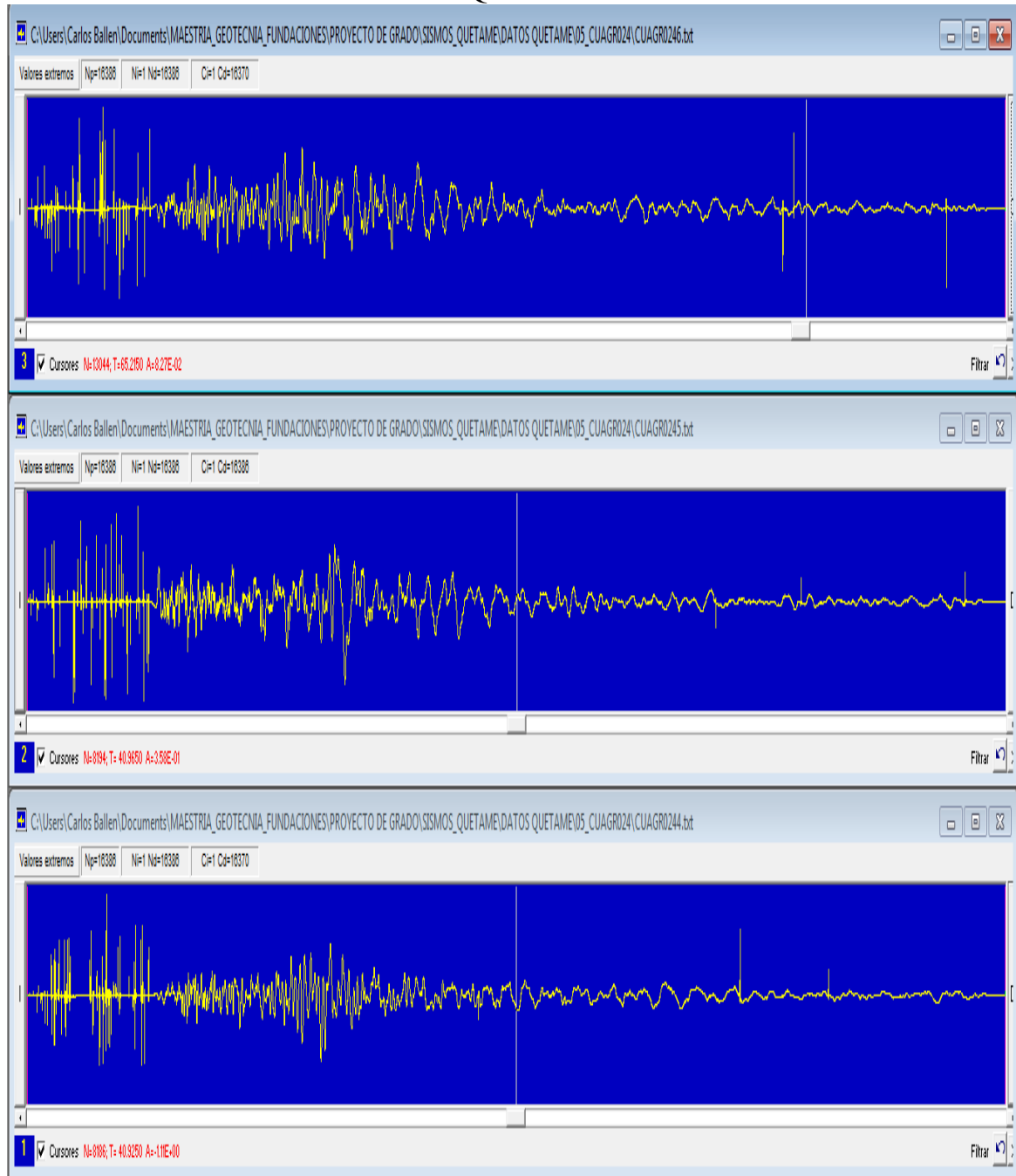


FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, V(SUPERFICIE)/V(ROCA) Y ODOGRAMA



FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, NS (SUPERFICIE)/NS (ROCA) Y ODOGRAMA

ANALISIS DE ACELEROGRAMAS REGISTRADOS EN ROCA ESTACION CUAGR SISMO QUETAME 2008

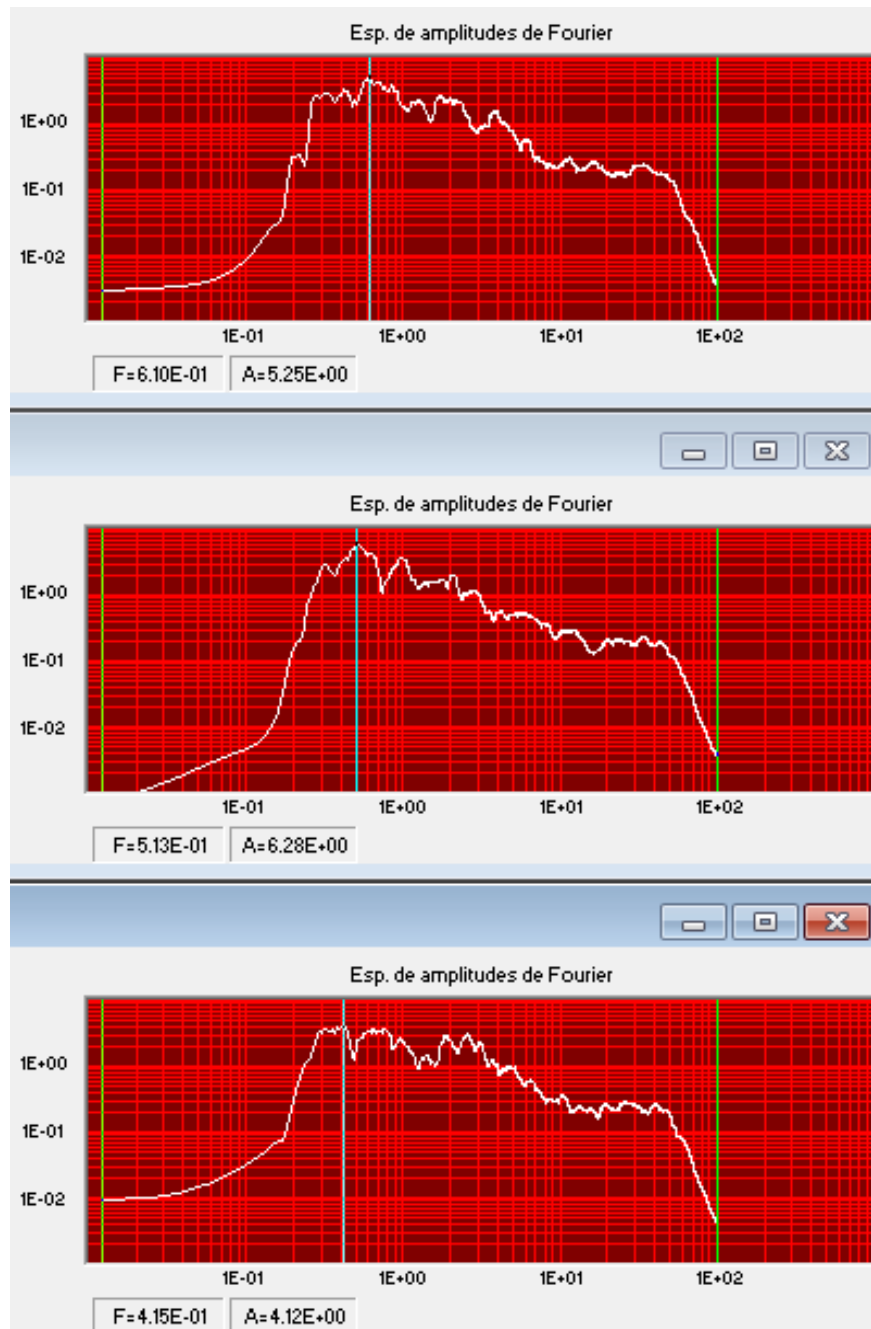


ACELEROGRAMA REGISTRO EN ROCA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME
2008, NS (3), V (2) y EO (1), CON CORRECCION DE LINEA BASE Y FILTRO
PASABANDA



INTENSIDAD DE ARIAS, REGISTRO EN ROCA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, NS (inf.), V (medio) y EO (sup.), CON CORRECCION DE LINEA BASE Y FILTRO PASABANDA

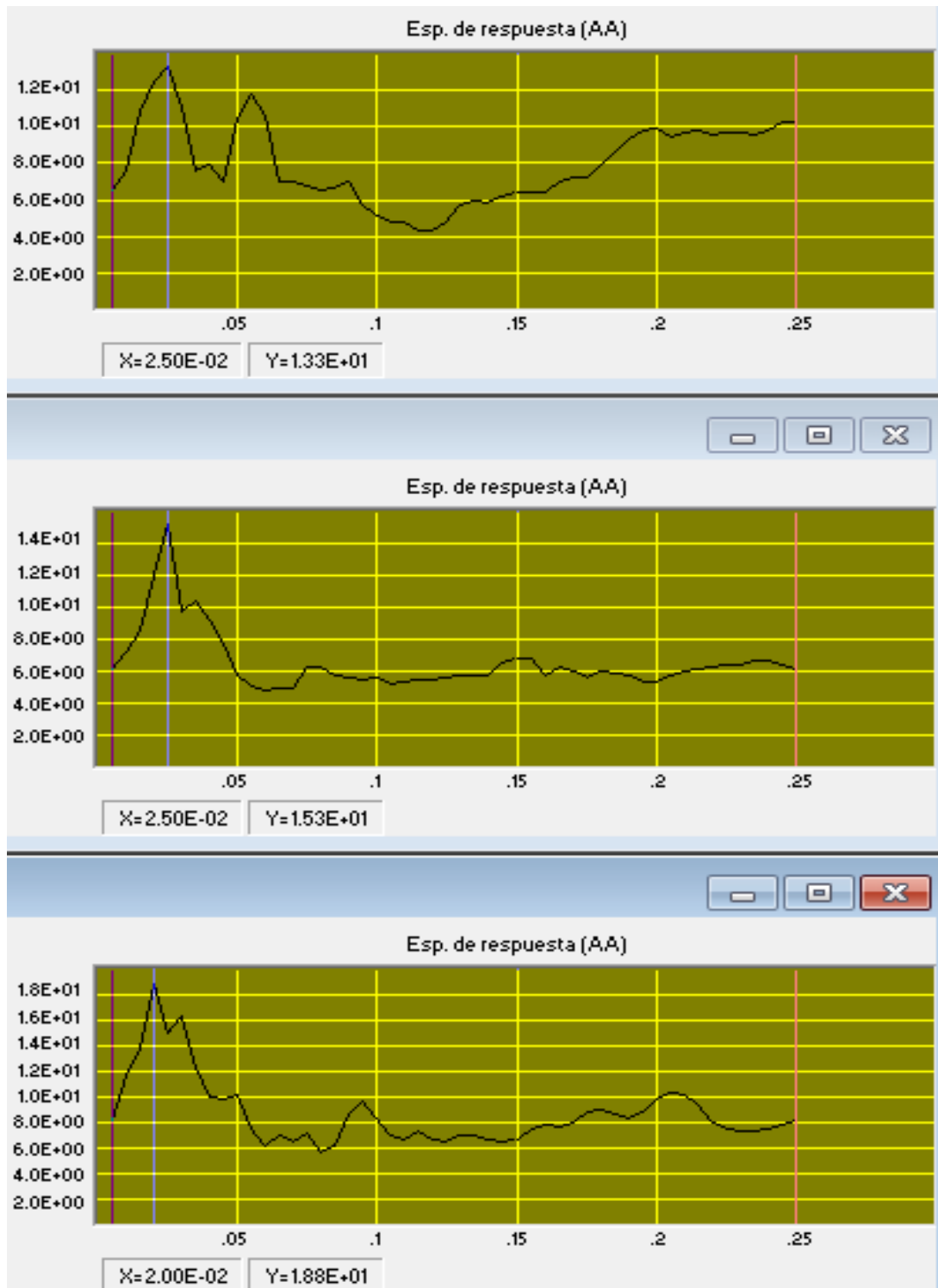
SEÑAL	INTENSIDAD	DURACION	PTO INICIAL	PTO FINAL
EO	4.49E+01	4.76E+01	1204	10716
V	3.36E+01	3.80E+01	1293	8899
NS	4.06E+01	4.56E+01	1267	10384
<i>La intensidad debe multiplicarse por $\pi/2g$</i>				



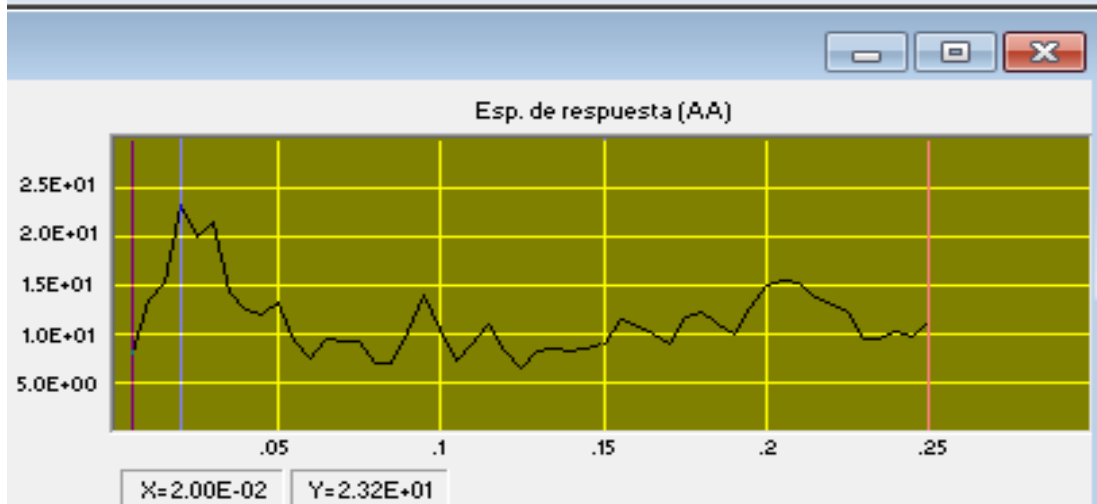
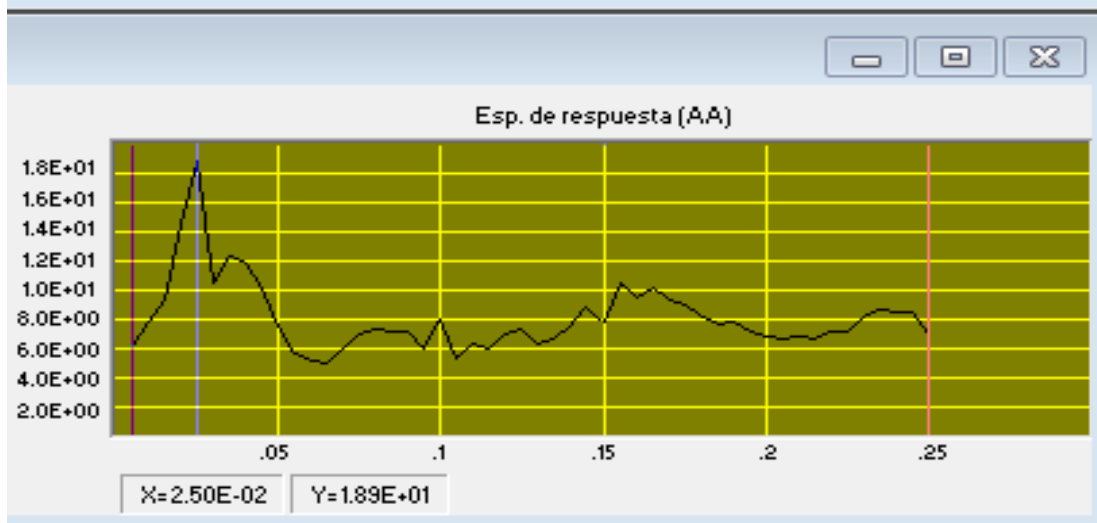
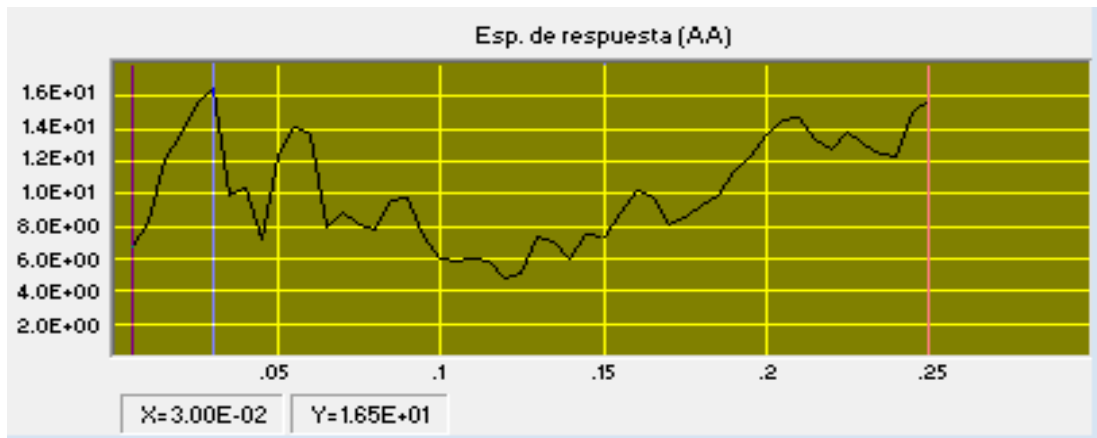
ESPECTRO DE AMPLITUDES DE FOURIER, REGISTRO EN ROCA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.)

SEÑAL	F_{MIN}	F_{MAX}	ENERGIA
EO	$1.22E-02$	$1.00E+02$	$4.43E+01$
V	$1.22E-02$	$1.00E+02$	$3.33E+01$
NS	$1.22E-02$	$1.00E+02$	$4.02E+01$

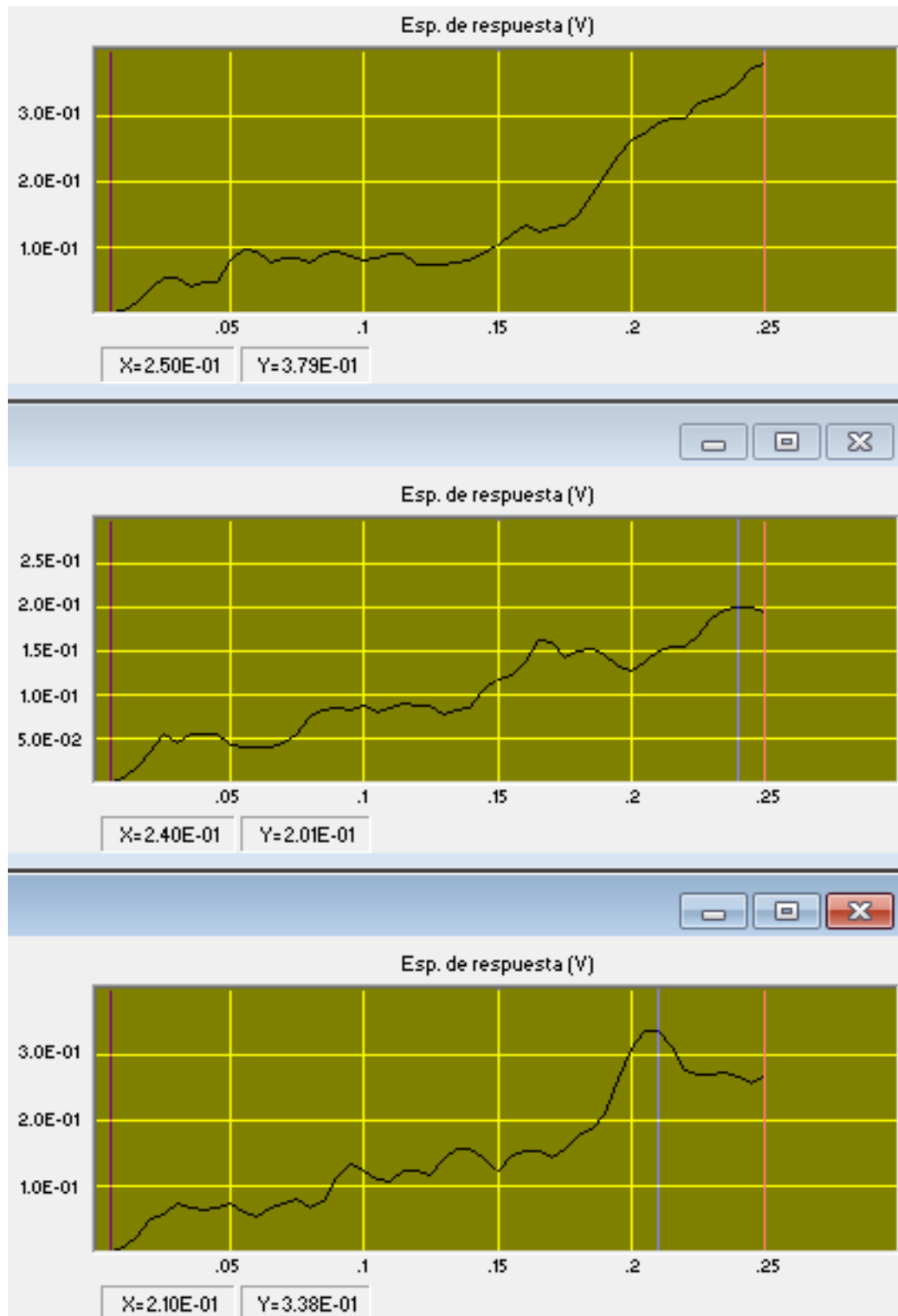
Es energia (por unidad de masa), solo cuando el espectro es de velocidad



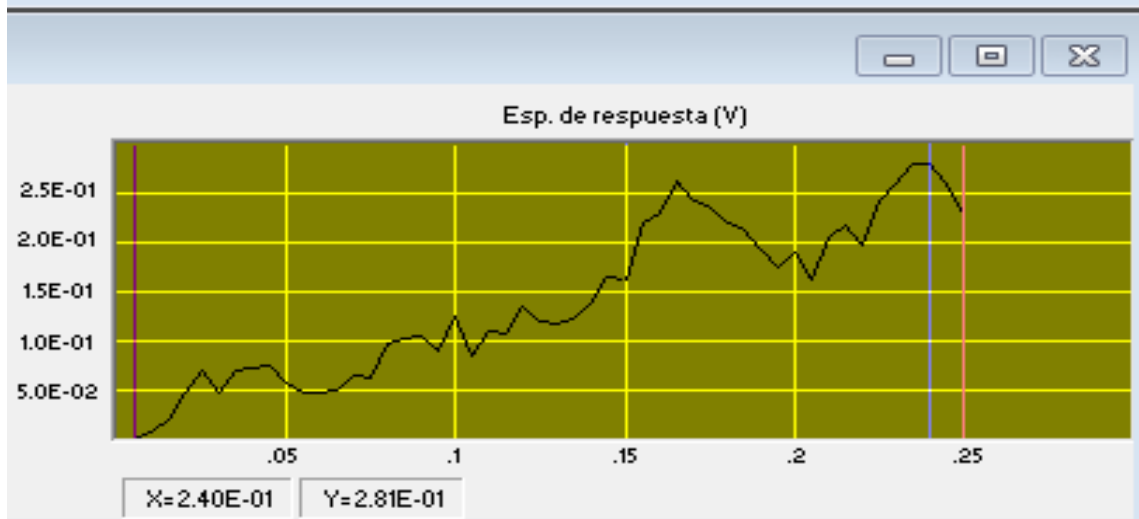
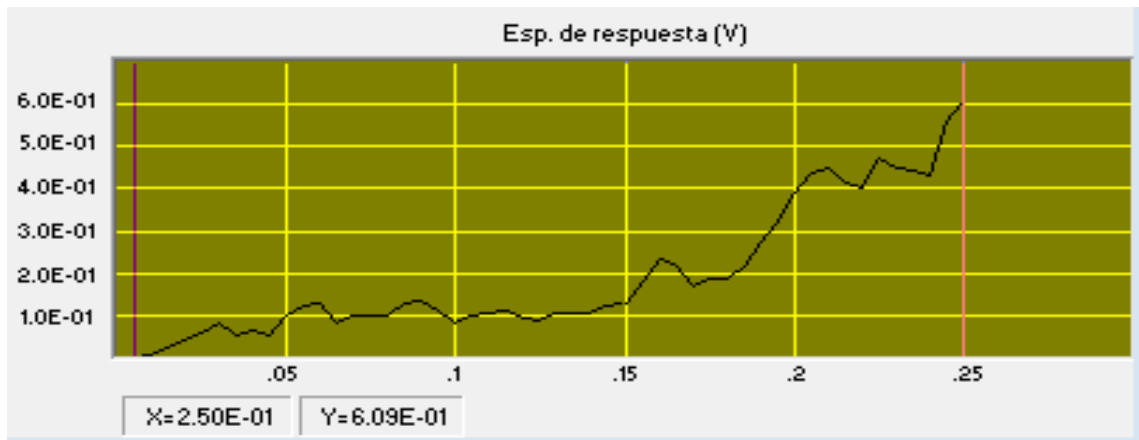
ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CUAGR-REGISTRO EN ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



ESPECTRO DE RESPUESTA, ACELERACION ABSOLUTA, ESTACION CUAGR-REGISTRO EN ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



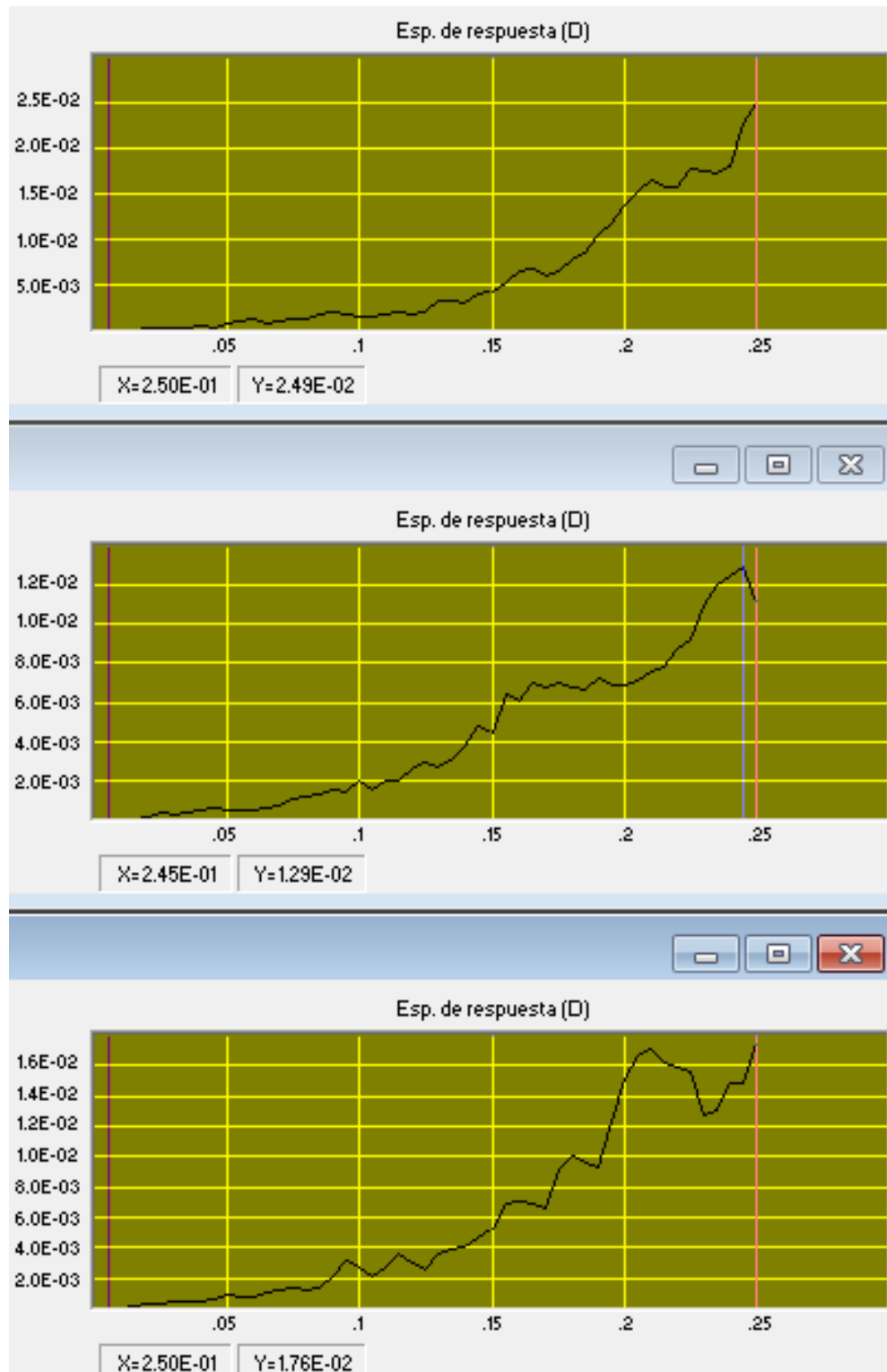
ESPECTRO DE RESPUESTA VELOCIDAD, ESTACION CUAGR-REGISTRO EN ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



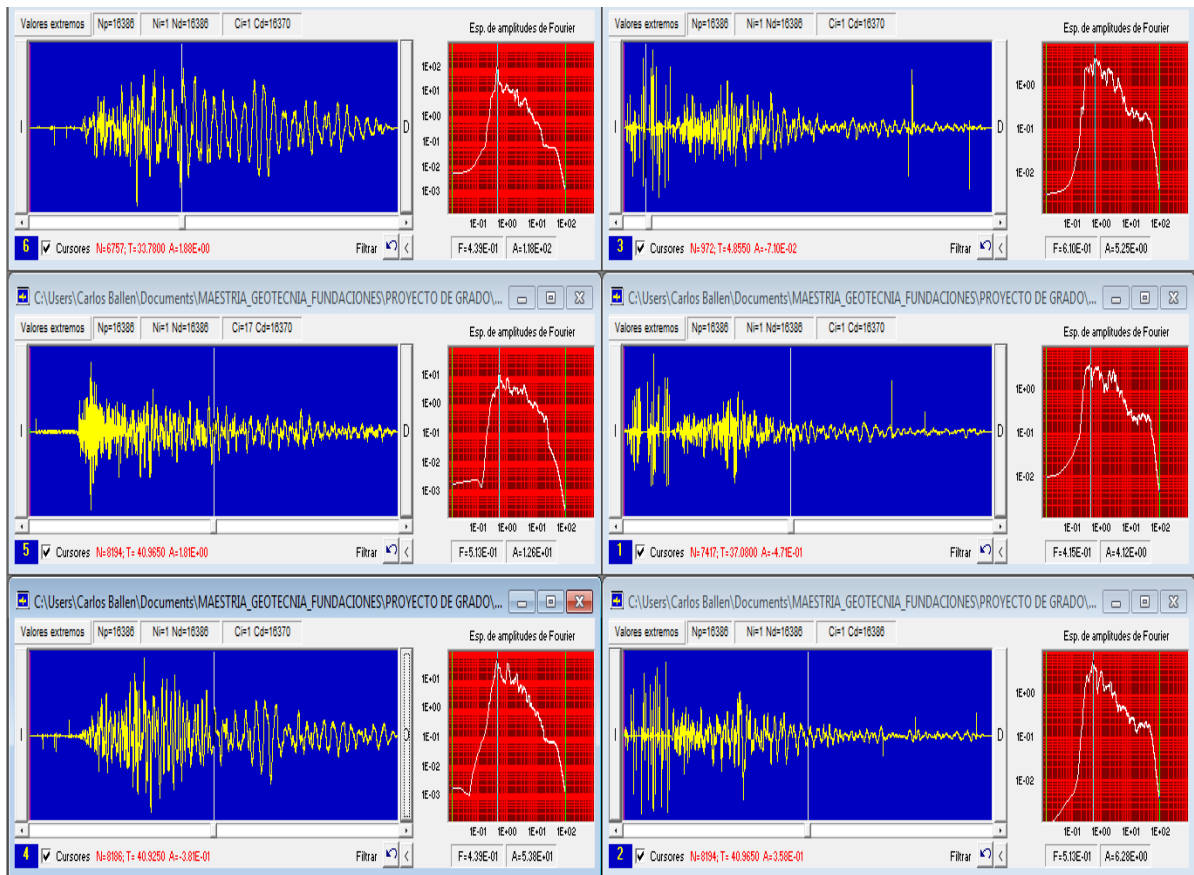
ESPECTRO DE RESPUESTA VELOCIDAD, ESTACION CUAGR-REGISTRO EN ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



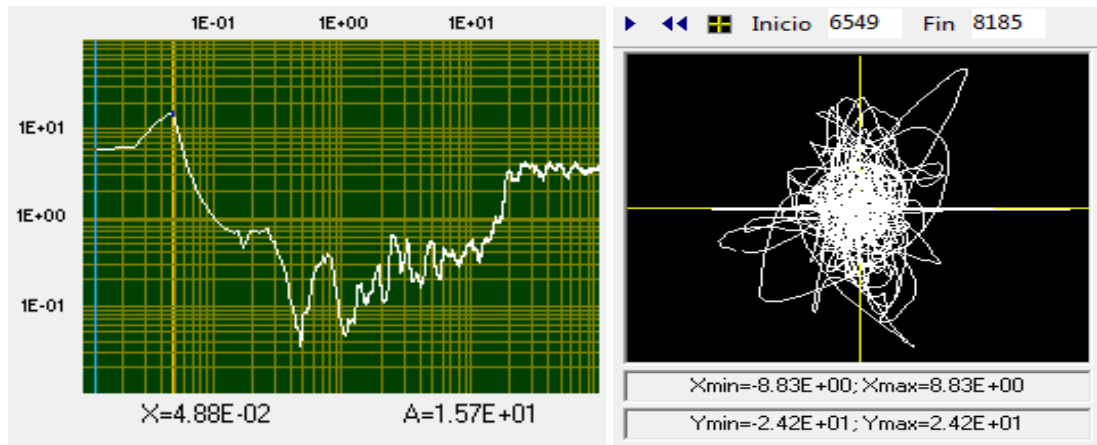
ESPECTRO DE RESPUESTA DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUAGR-REGISTRO EN ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 5% DEL CRITICO



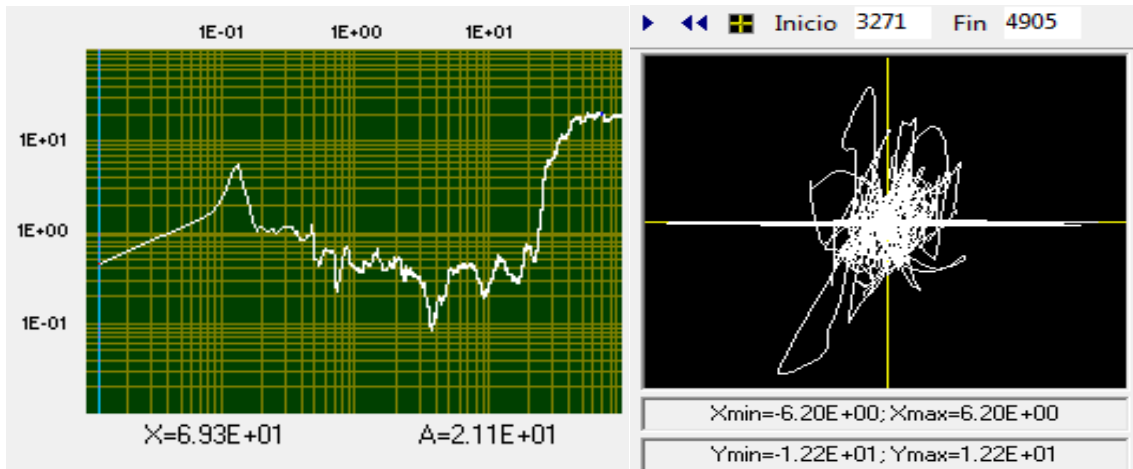
ESPECTRO DE RESPUESTA DESPLAZAMIENTO, ESTACION CUAGR-REGISTRO EN ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO (inf.), V (medio) Y NS (sup.), AMORTIGUAMIENTO 2% DEL CRITICO



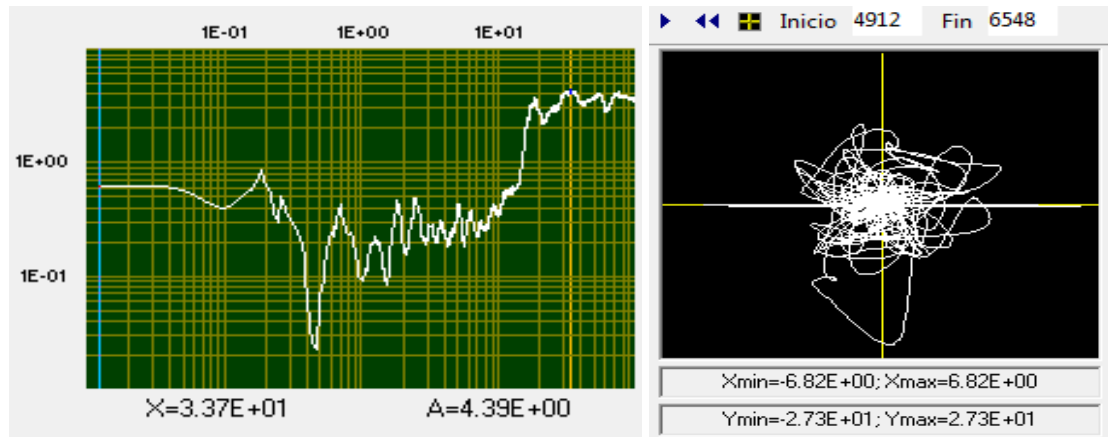
ACELEROGRAMAS EN ROCA Y SUPERFICIE , ESTACION CUAGR-REGISTRO EN ROCA, SISMO QUETAME 2008, EO ROCA, (1); V ROCA (2); NS ROCA (3); EO SUPERFICIE (4); V SUPERFICIE (5) Y NS SUPERFICIE (6)



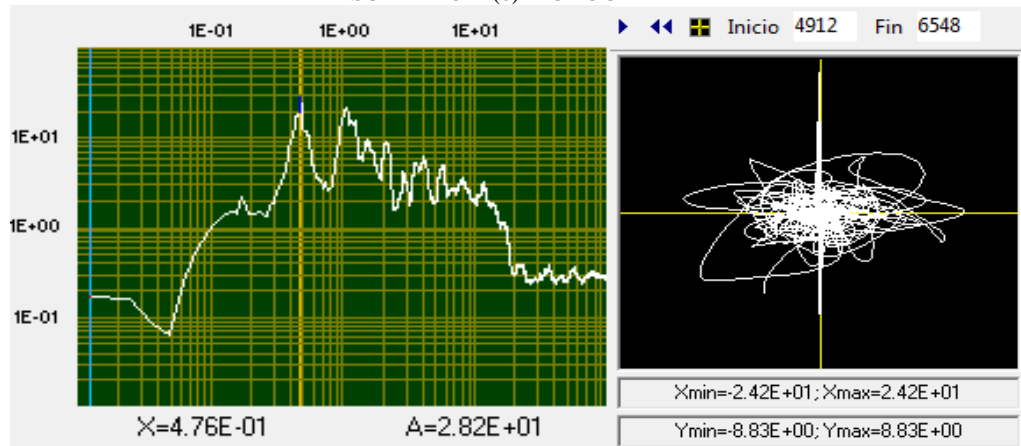
FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, EO ROCA (1)/EO SUPERFICIE (4) Y ODOGRAMA



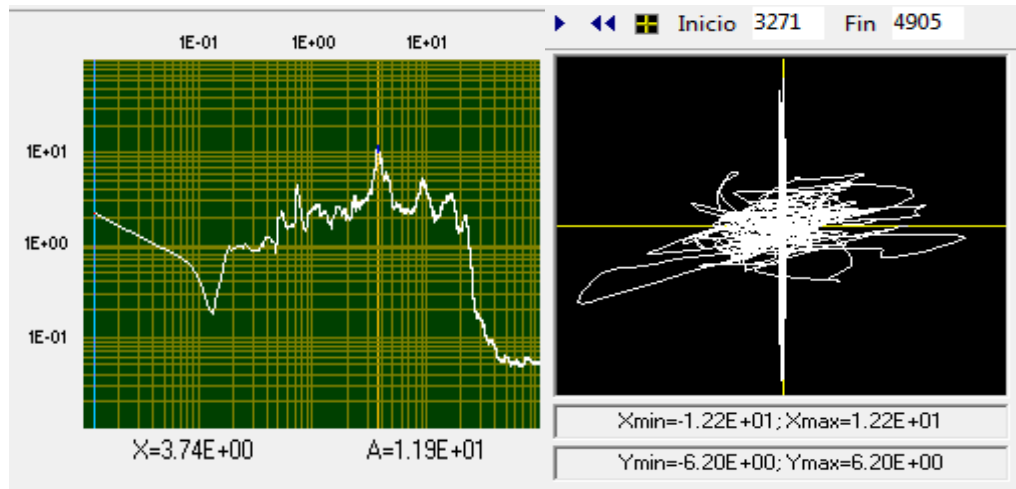
FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, V ROCA (2)/V SUPERFICIE (5) Y ODOGRAMA



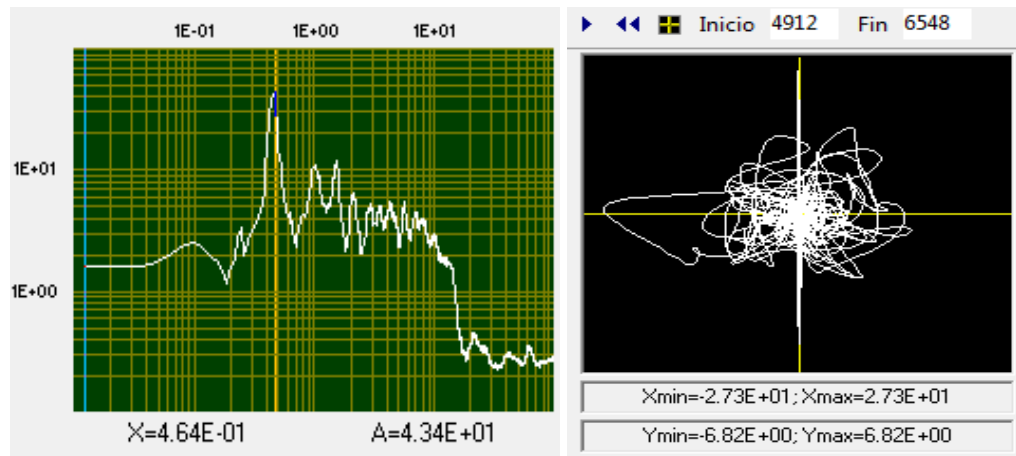
FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, NS ROCA (3)/NS SUPERFICIE (6) Y ODOGRAMA



FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, EO SUPERFICIE (4)/EO ROCA (1) Y ODOGRAMA



FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, V SUPERFICIE (5)/V ROCA (2) Y ODOGRAMA



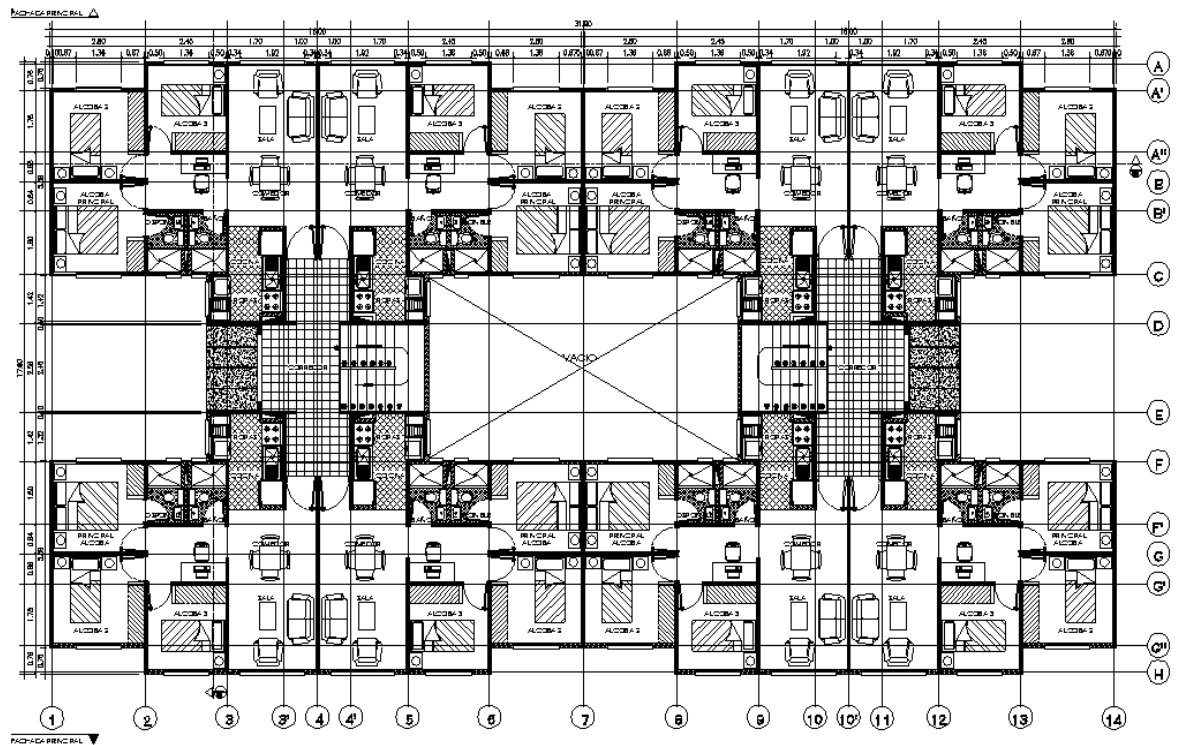
FUNCION DE TRANSFERENCIA, ESTACION CUAGR, SISMO QUETAME 2008, NS SUPERFICIE (6)/NS ROCA (3) Y ODOGRAMA

Todas las imágenes de este capítulo son de elaboración propia usando el software Degtra4A.

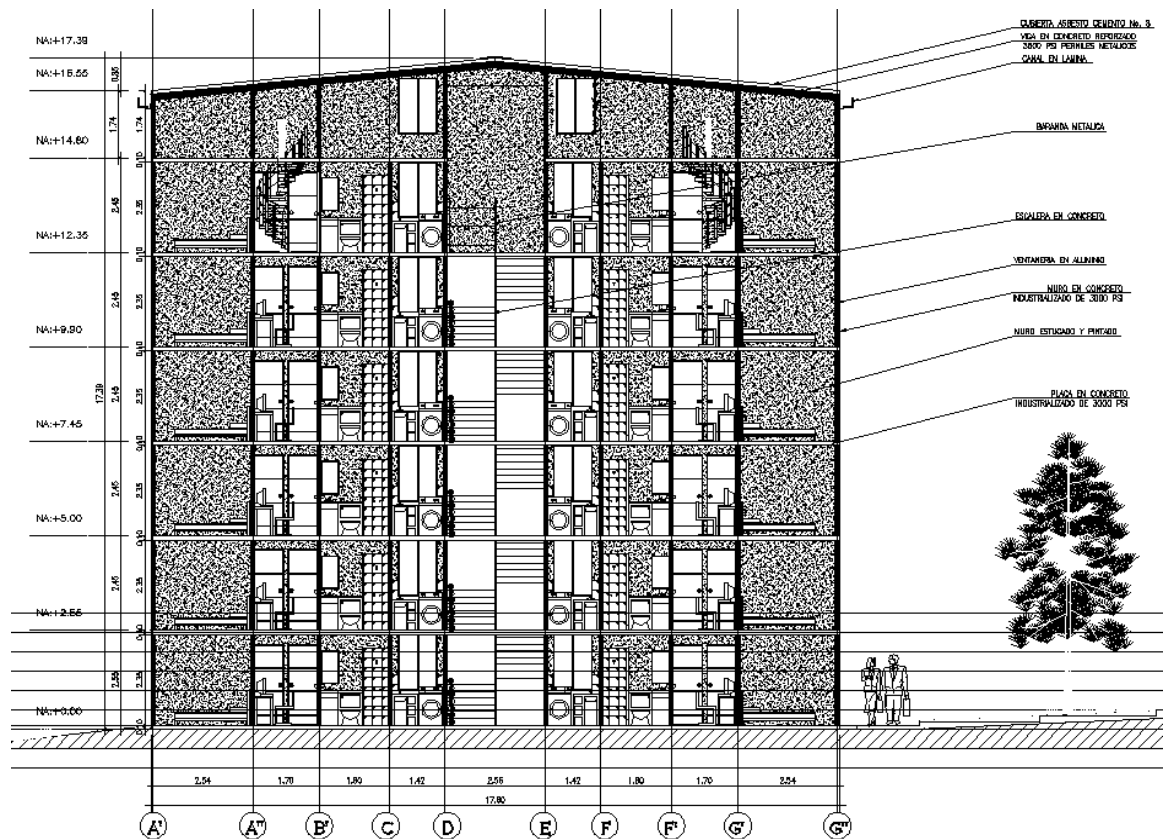
CAPITULO 5. ANALISIS DE MASAS Y CORTANTE BASAL, DEL EDIFICIO PROTOTIPO DE SEIS PISOS Y ALTILLO, EN CONCRETO REFORZADO Y SISTEMA SISMORESISTE DE MUROS DE CONCRETO (DMO)

5.1 CONFIGURACION ARQUITECTONICA Y ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO PROTOTIPO

El edificio que se utilizara como prototipo, consta de 8 apartamentos por piso y áreas de vivienda de 50m², la altura de entrepiso es de 2.35m y la losa de espesor 10cm; los esquemas arquitectónicos en planta y corte son los siguientes:

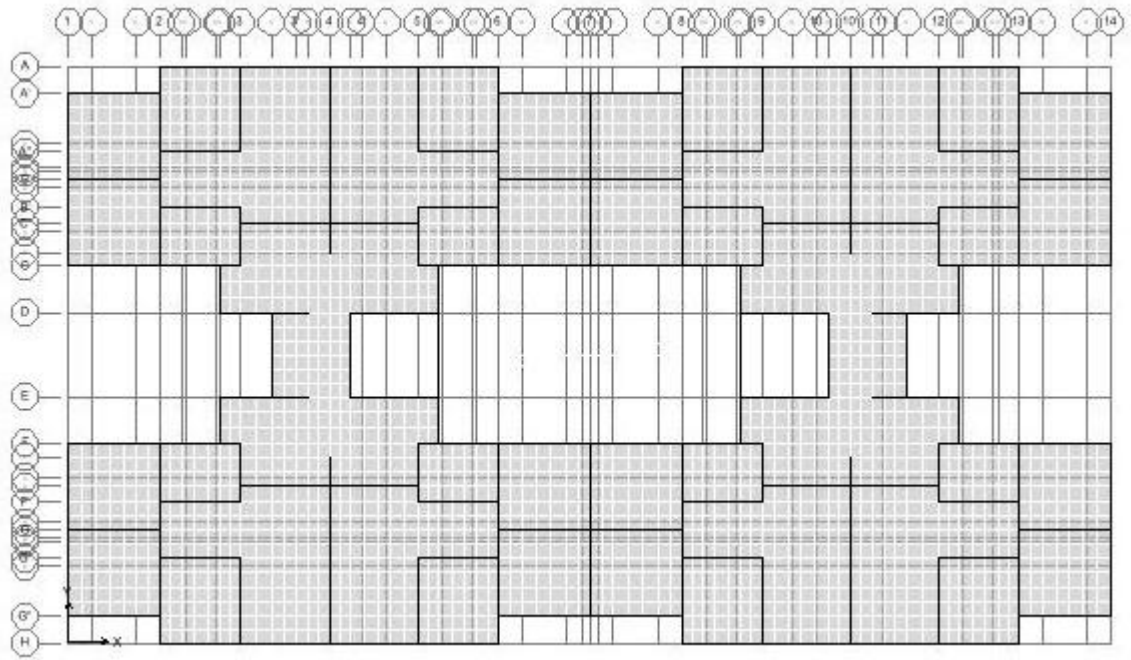


Fuente: M&H Ingenieros S.A., planta típica de apartamentos

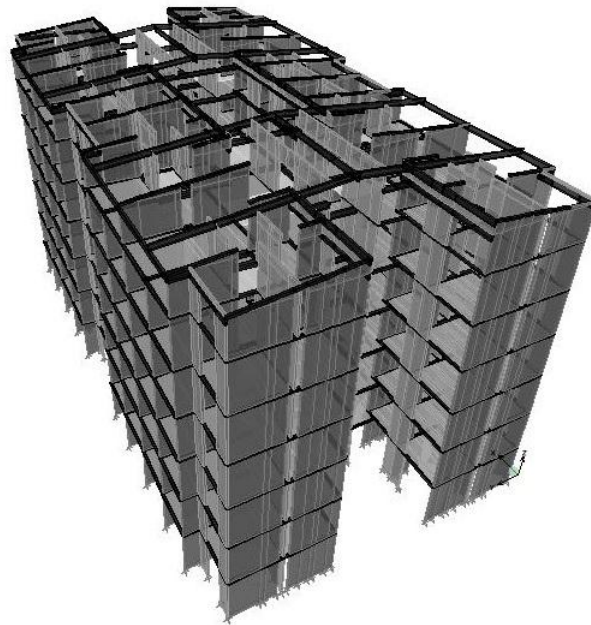


Fuente: M&H Ingenieros S.A., corte típica de edificios

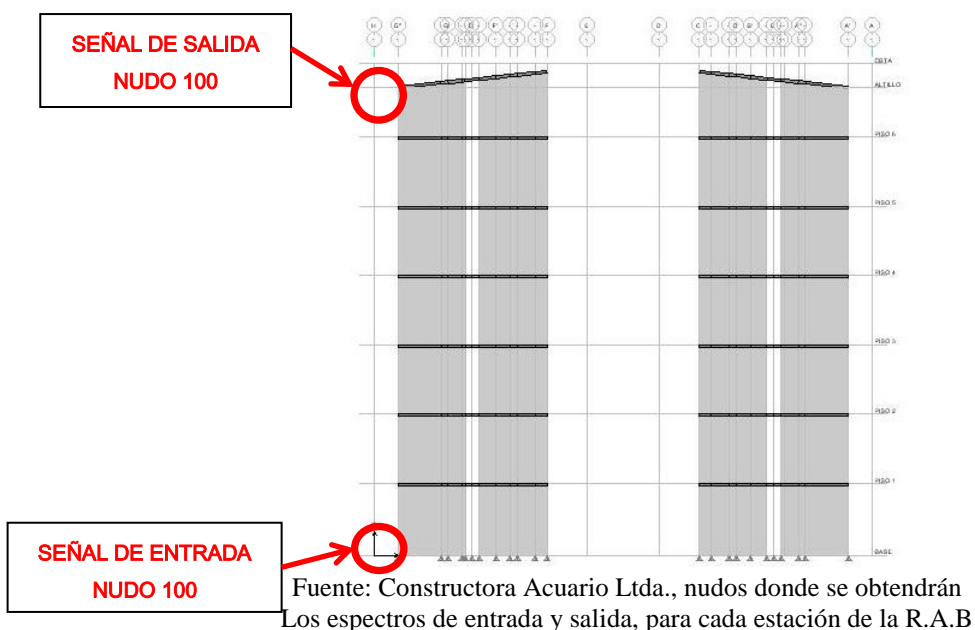
El sistema estructural, como se mencionó, está conformado por muros de concreto de espesor 10cm, distribuidos en las dos direcciones y no son iguales en cantidad, debido a esto, la rigidez del edificio en un sentido es diferente al otro. Las alturas para modelación se tomaron de 2.45m, medidas hasta el borde superior de la losa. El concreto utilizado es de, $f'_c=21\text{MPa}$ y el modulo elástico, $E=17,872.04\text{MPa}$, la relación de Poisson, $\mu=0.20$ y el acero de refuerzo, $F_y=420\text{MPa}$. Los diafragmas son losas de concreto macizas de 10cm de espesor y resistencia, $f'_c=21\text{MPa}$.



Fuente: Constructora Acuario Ltda., planta típica de muros estructurales.



Fuente: Constructora Acuario Ltda., axonometría de la edificio.



Las masas del edificio, a nivel de diafragmas, son las siguientes:

No. PISO	MASA DE PISO (Mg)	ALTURA DE PISO h_x (m)
NIVEL +14.80	114.70	2.45
NIVEL +12.35	273.30	2.45
NIVEL +9.90	273.30	2.45
NIVEL +7.45	273.30	2.45
NIVEL +5.00	273.30	2.45
NIVEL+2.55	272.10	2.55
$\Sigma =$	1,480.00	14.80

Tabla 5, Masas de diafragmas y altura de pisos. Fuente: Elaboración propia.

El periodo, con base en la NSR-10, se estimó en $T= 0.83s$, el coeficiente de capacidad de disipación de energía básico es $R=4$, para muros de concreto DMO. Del análisis modal espectral del edificio, elaborado con el programa ETABS, se hallaron las propiedades físicas del edificio, presentadas en la tabla 5.1, iguales para todos los modelos utilizados y para todas las estaciones del estudio, (Son las invariantes de la estructura).

MODE NUMBER	PERIOD (TIME)	FREQUENCY (CYCLES/TIME)	CIRCULAR FREQ (RADIAN/TIME)
Mode 1	0.32	3.11	19.54
Mode 2	0.31	3.21	20.14
Mode 3	0.30	3.34	20.97
Mode 4	0.15	6.79	42.68
Mode 5	0.11	8.73	54.85
Mode 6	0.11	8.93	56.09
Mode 7	0.11	8.97	56.36
Mode 8	0.10	9.68	60.85
Mode 9	0.10	10.11	63.53
Mode 10	0.09	11.74	73.74
Mode 11	0.08	11.85	74.43
Mode 12	0.08	12.71	79.86
Mode 13	0.06	16.13	101.33
Mode 14	0.06	17.95	112.79
Mode 15	0.04	23.36	146.78
Mode 16	0.04	26.10	164.00
Mode 17	0.02	42.35	266.10
Mode 18	0.02	48.04	301.84

Tabla 5.1, Periodos y frecuencias de la estructura. Fuente: Datos de salida ETABS.

Los centros de masa y de rigidez, de todos los modelos, son iguales y se presentan en la Tabla 5.2:

LEVEL	NAME	MASS Mg	ORDINATE-X CM	ORDINATE-Y CM	ORDINATE-X CR	ORDINATE-Y CR
PISO 6	ALTILLO	114.70	13.32	7.07	15.74	8.62
PISO 5	PISO5	273.30	15.90	8.74	15.91	8.74
PISO 4	PISO4	273.30	15.90	8.74	15.90	8.74
PISO 3	PISO3	273.30	15.90	8.74	15.89	8.74
PISO 2	PISO2	273.30	15.90	8.74	15.89	8.74
PISO 1	PISO1	272.10	15.90	8.74	15.90	8.74

Medidas en m.

Tabla 5.2, Centros de masa y rigidez de la estructura. Fuente: Datos de salida ETABS.

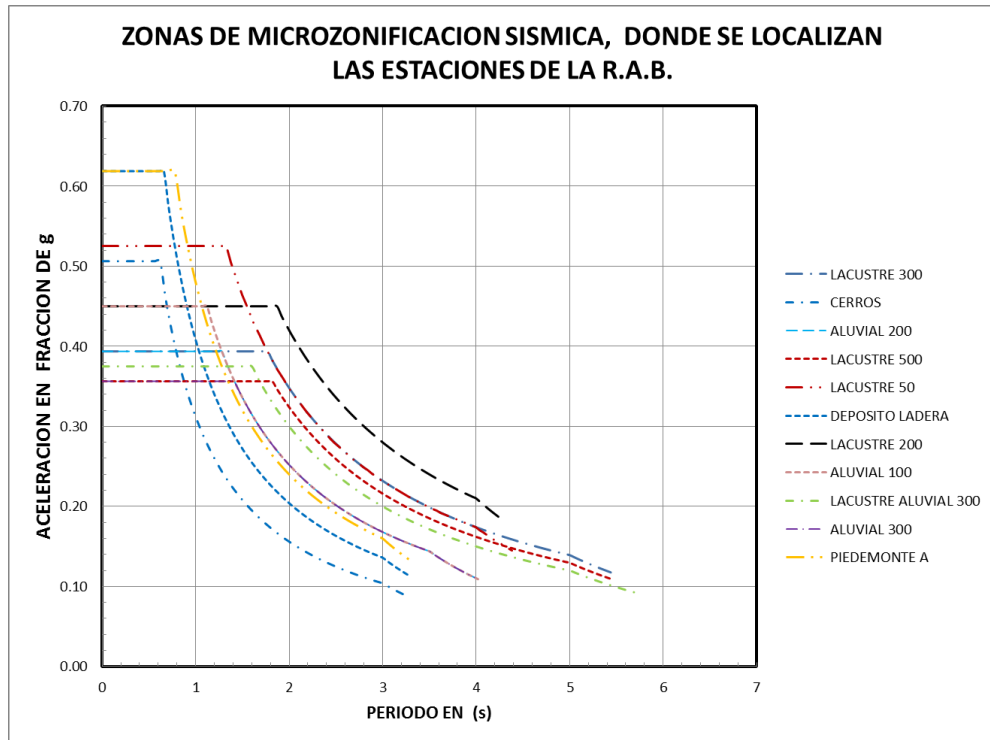
5.2 METODOLOGIA PARA EL ANALISIS

Se realizaron los siguientes pasos para establecer los espectros de diseño:

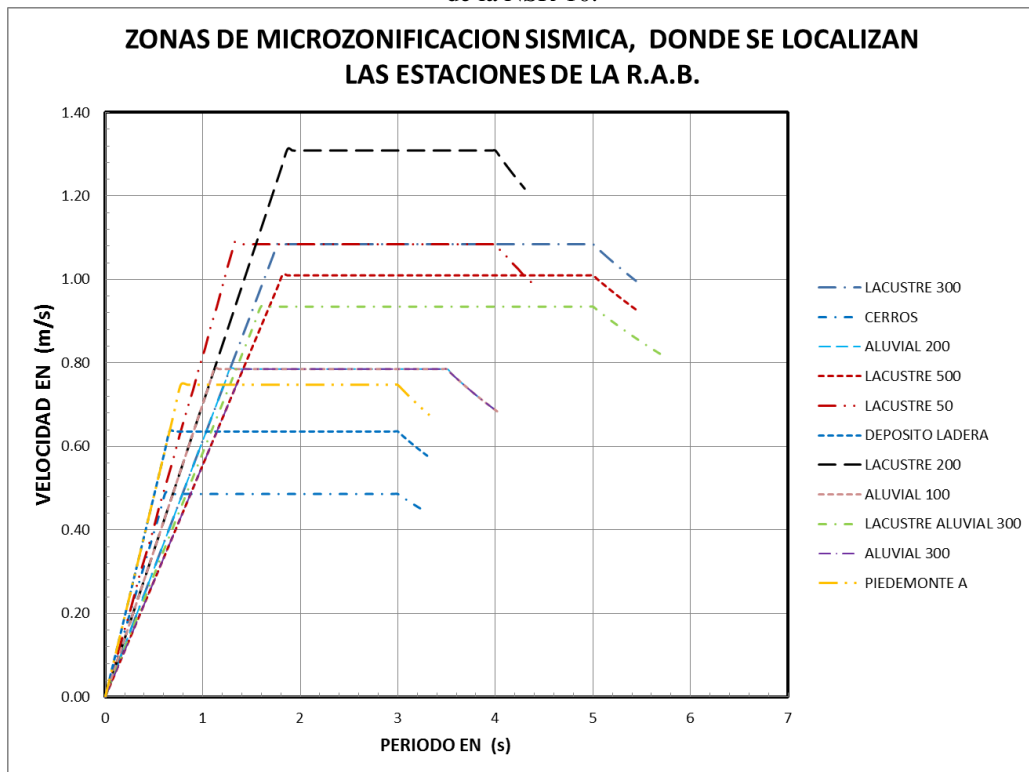
- a) Para cada estación que registro el sismo de Quetame en el 2008, utilizando las coordenadas geográficas, se localizó en el mapa de riesgo sísmico, (página www.sire.gov.co), del SISTEMA DISTRITAL DE GESTION DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMATICO, SIRE, de la Alcaldía de Bogotá, la zona sísmica donde pertenece, conforme con la microzonificación sísmica, aprobada según el decreto 523 de 2010. En la tabla 5.3 se muestran los resultados.
- b) Como datos de entrada se ingresa, al programa ETABS, la información de materiales, geometría, secciones, cargas, espectros de aceleración, de conformidad con el Decreto 523 de 2010, y para el análisis modal los acelerogramas ya filtrados, suministrados por el FOPAE. Los espectros de aceleración y los registros sísmicos de aceleración versus tiempo, se ingresan para cada uno de los edificios, que hipotéticamente se construirán en las estaciones de la RAB. Los resultados del análisis se ordenan y se organizan para graficar las curvas de comparación de fuerzas horizontales resultantes, del método de los espectros normalizados de aceleración y las de registro histórico. También se calculan las gráficas de los espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento, para cada una de las zonas donde se localizan las estaciones de la R.A.B. y por último se resumen en forma gráfica por zonas de microzonificación. Los resultados se muestran en la tabla 5.3 y en las gráficas 5.1, 5.2 y 5.3 respectivamente. Los espectros de aceleración y los registros sísmicos no se escalaron, como suele usarse para cumplir con la NSR-10, para alcanzar la el método de la fuerza horizontal equivalente, con el objeto de no alterar los resultados y permitir la confiabilidad en las comparaciones.
- c) En razón a la gran cantidad de información de salida, producida por el programa ETABS, por los resultados empleando los métodos de “Response Spectrum, Functions” y “Time History Functions”, **RS y TH** respectivamente, en los sitios de cada una de las estaciones, se prefiere la presentación de los resultados en forma gráfica. Para las curvas de cortante Vs. Momento se calculan las curvas de tendencia.

Nº	NOMBRE DE LA ESTACION	CODIGO	LAT N (°)	LONG E (°)	DIRECCION	ZONA SISMICA	LOCALIDAD
1	ESCUELA DE INGENIERIA	CEING	4.7833	-74.0458	Av 13 No. 205 - 59	LACUSTRE -200	11 SUBA
2	UNIVERSIDAD DE LA SALLE	CUSALL	4.7559	-74.0264	Cr 7 No. 172 - 85	LACUSTRE -50	1 USAQUEN
3	COLEGIO FERNANDO MAZUERA	CBOSA	4.6066	-74.192	Cl 68A Sur No. 87D - 09	ALUVIAL-100	7 BOSA
4	UNIVERSIDAD CORPAS	CCORP	4.7617	-74.094	Av Corpas, Km. 3, Via Suba	LACUSTRE -300	11 SUBA
5	UNIVERSIDAD AGRARIA	CUAGR	4.7542	-74.0527	Cl 170 No. 50 - 90	LACUSTRE-200	11 SUBA
7	COLONIA ESCOLAR DE USAQUEN	CUSAQ	4.7064	-74.0332	Cl 127 No. 12A - 20	PIEDEMONTE A	1 USAQUEN
8	ESCUELA DE CABALLERIA	CESCA	4.6822	-74.0332	Cr 7 con Cl 106	CERROS	1 USAQUEN
9	BANCO DE LA REPÚBLICA	CBANC	4.7085	-74.0791	Cr 57 No. 120 - 01	LACUSTRE-50	11 SUBA
10	T.V. CABLE	CTVCA	4.7181	-74.0848	Dg 120 No. 86 - 75	CERROS	11 SUBA
11	PARQUE LA FLORIDA	CFLOD	4.7295	-74.1464	Km. 3, vía Engativa- Cota	SIN IDENTIFICAR	10 ENGATIVA
12	AVIANCA	CAVIA	4.6858	-74.119	Av El Dorado No. 92 - 30	LACUSTRE-500	10 ENGATIVA
13	FONTIBÓN	CFONT	4.6607	-74.1454	Cl 13 con Cr 96	ALUVIAL-300	8 KENNEDY
14	CENTRO DE ESTUDIOS DEL NIÑO	CNIÑO	4.6962	-74.0932	Cl 71 No. 73A - 44	LACUSTRE-300	10 ENGATIVA
15	JARDÍN BOTÁNICO	CJABO	4.6665	-74.0993	Cl 57 No. 61 - 13	LACUSTRE-300	10 ENGATIVA
16	COLEGIO SAN BARTOLOME	CBART	4.6205	-74.062	Cr 5 No. 34 - 00	DEPOSITO LADERA	3 SANTA FE
17	UNIVERSIDAD MANUELA BELTRAN	CUNMA	4.6415	-74.0543	Cr 3 Este No. 60 - 50	DEPOSITO LADERA	2 CHAPINERO
19	CITEC	CCITE	4.6395	-74.1131	Cr 65B No 17A - 11	LACUSTRE ALUVIAL-300	16 PUENTE ARANDA
20	CLUB EL TIEMPO	CTIEM	4.6943	-74.1558	Cl 32 No. 125 - 01	LACUSTRE-500	9 FONTIBON
21	PARQUE TIMIZA	CTIMI	4.6084	-74.1511	Dg 42 Sur No. 62 - 67	ALUVIAL-200	8 KENNEDY
22	PARQUE EL TUNAL	CTUNA	4.5753	-74.1313	Cl 48 con Av El Tunal	ALUVIAL-100	6 TUNJUELITO
24	BOMBEROS LA MARICHUELA	CMARI	4.5117	-74.1171	Cr 1A con cl 76A Bis sur	DEPOSITO LADERA	5 USME
25	COLEGIO SIERRA MORENA	CSMOR	4.5746	-74.1701	Cl 77A Sur No. 65 - 15	CERROS	19 CIUDAD BOLIVAR
26	ESCUELA DE TEJEDORES	CTEJE	4.6149	-74.0951	Cr 32 No. 12 - 55	ALUVIAL-200	16 PUENTE ARANDA
27	TANQUES DE VITELMA	CVITE	4.575	-74.0716	Cl 9 sur con Cr 9 Este	DEPOSITO LADERA	4 SAN CRISTOBAL
28	COLEGIO LAUREANO GOMEZ	CLAGO	4.718	-74.1003	CL 90A No.97-40	LACUSTRE-300	10 ENGATIVA
29	ESCUELA GENERAL SANTANDER	CGRAL	4.5881	-74.1301	Cl 44 Sur No. 45A - 15	ALUVIAL-200	6 TUNJUELITO
30	COLEGIO KENNEDY	CCKEN	4.6459	-74.1715	Cl 38 Sur No 107C - 29	ALUVIAL-300	8 KENNEDY
31	INGEOMINAS	CBOG1	4.641	-74.080		LACUSTRE-200	13 TEUSAQUILLO
32	GAVIOTAS (INGEOMINAS)	CBOG2	4.603	-74.063		DEPOSITO LADERA	17 CANDELARIA
33	REACTOR (INGEOMINAS)	CREAC	4.642	-74.095		LACUSTRE-300	13 TEUSAQUILLO

Tabla 5.3: Localización de las estaciones en las zonas sísmicas. Fuente: Elaboración propia.

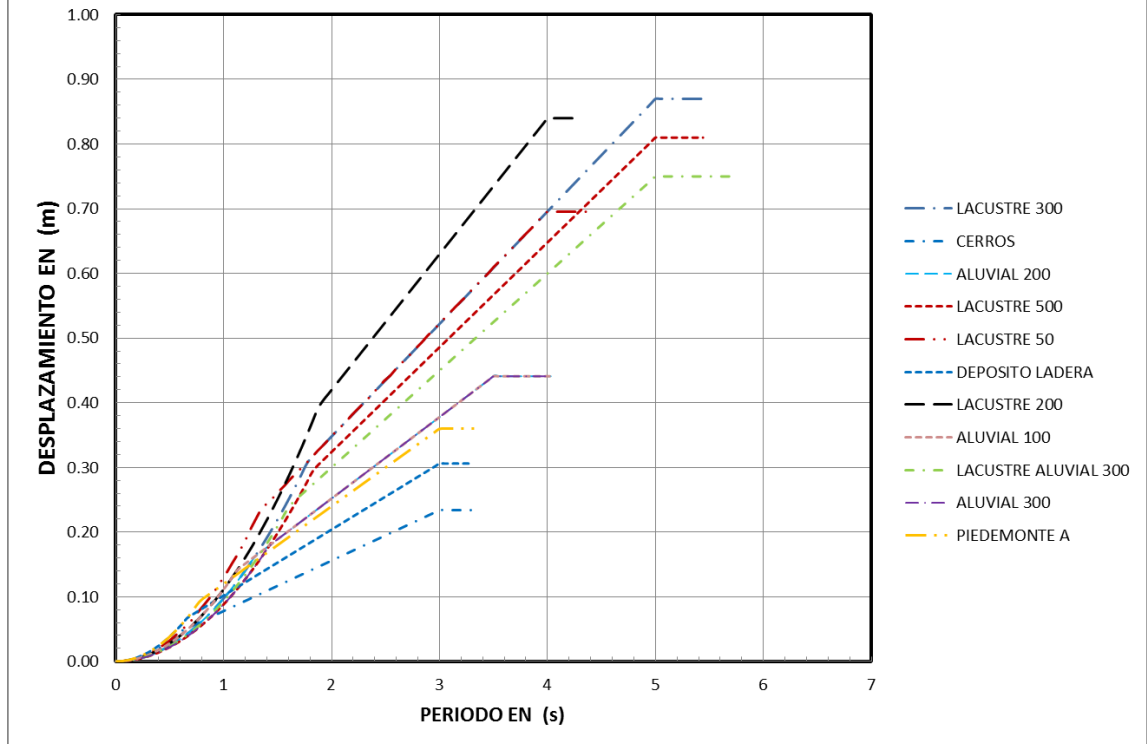


Grafica 5.1: Espectros de aceleración para las estaciones de la R.A.B. Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10.



Grafica 5.2: Espectros de velocidades para las estaciones de la R.A.B. Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10

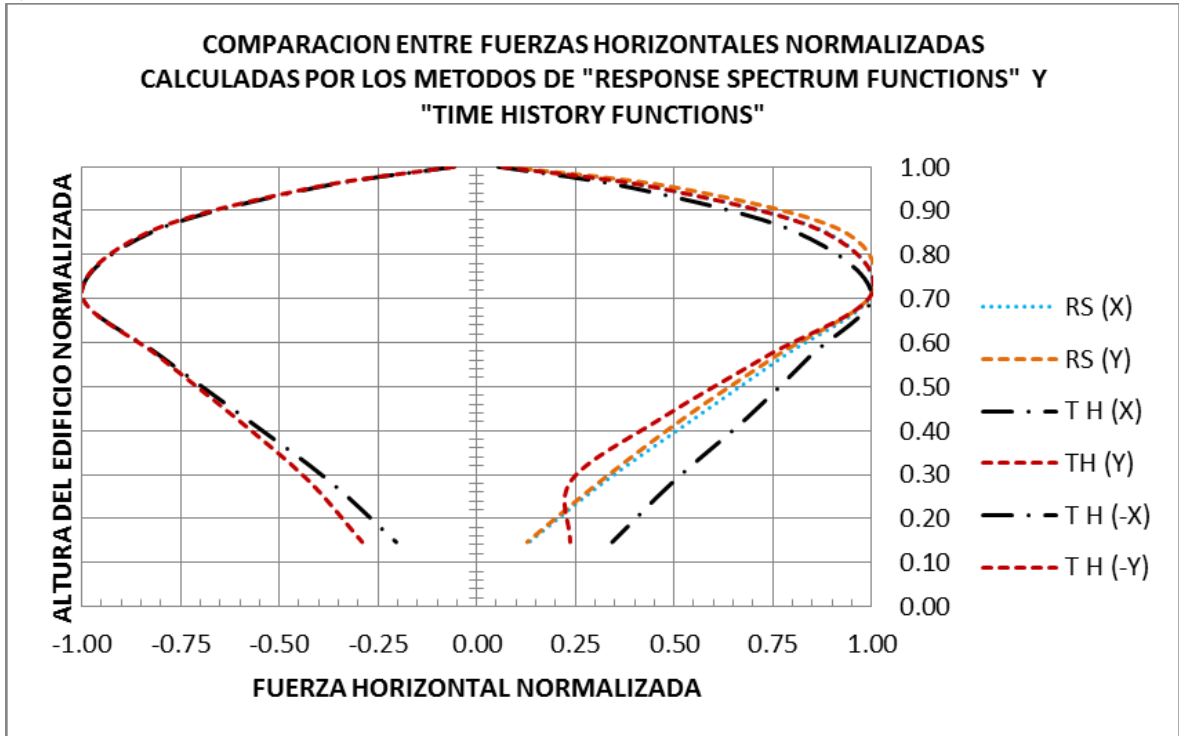
**ZONAS DE MICROZONIFICACION SISMICA, DONDE SE LOCALIZAN
LAS ESTACIONES DE LA R.A.B.**



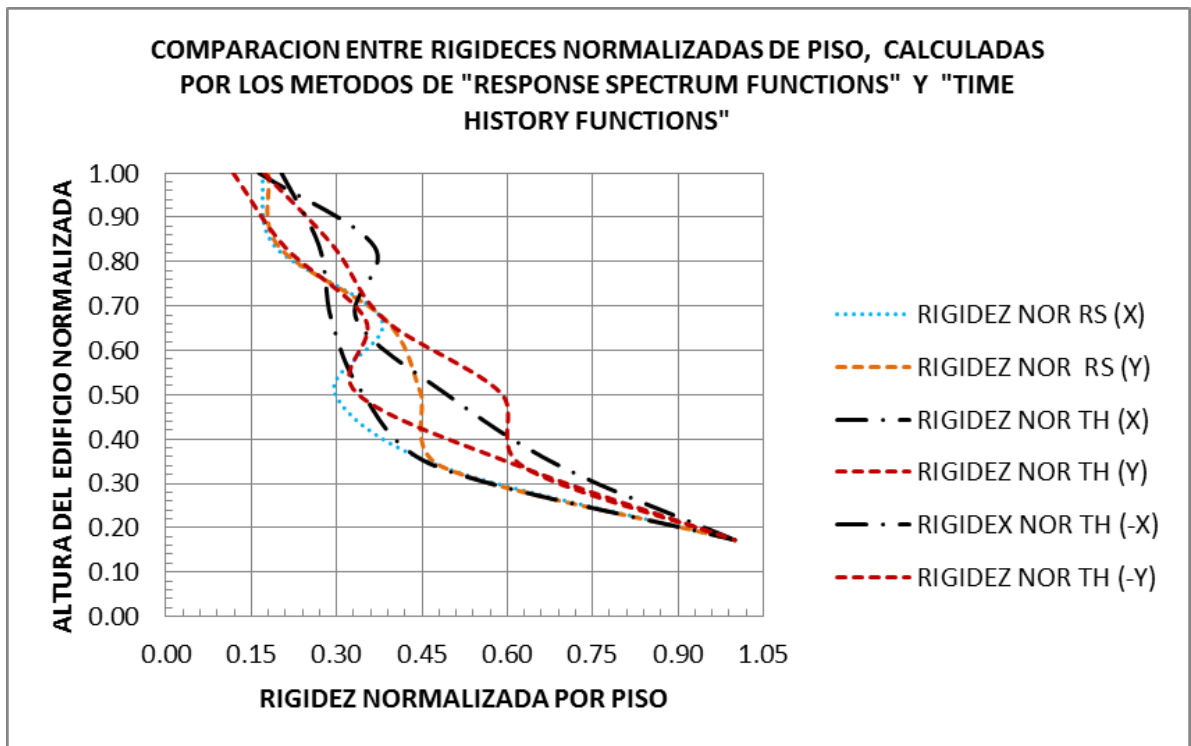
Grafica 5.3: Espectros de desplazamientos para las estaciones de la R.A.B. Fuente: Elaboración propia, con datos de la NSR-10

5.3 GRAFICAS DE RESULTADOS, PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES R.A.B

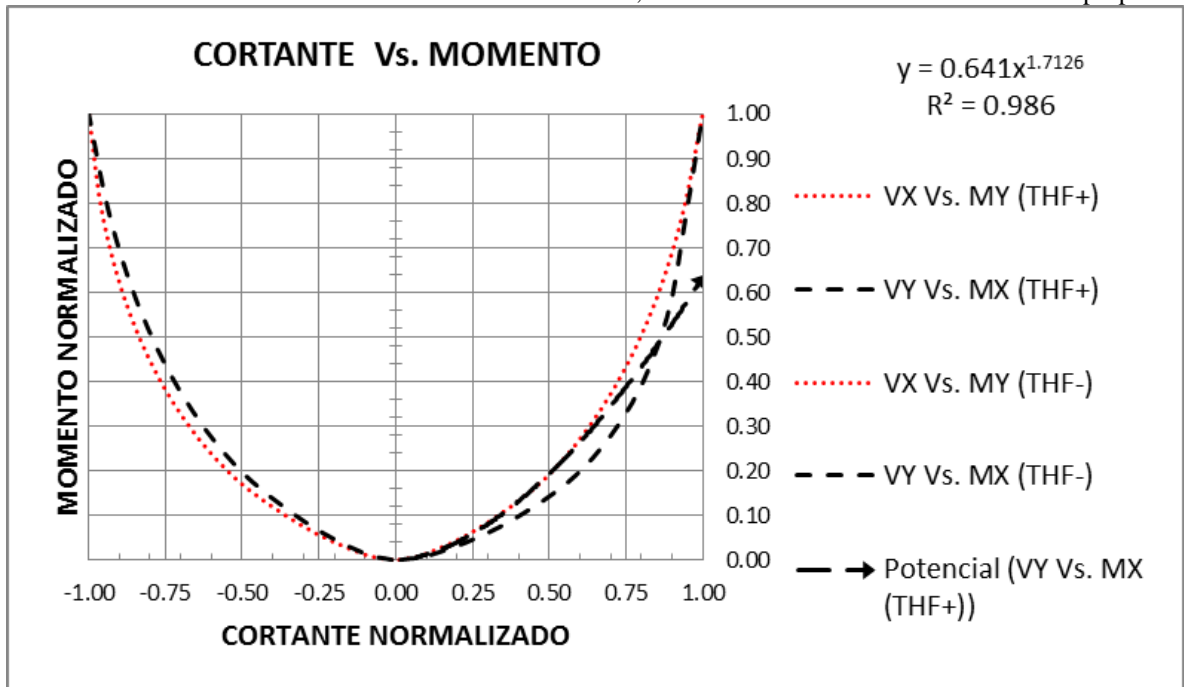
1) ESTACION "CAVIA", ZONA LACUSTRE 500, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CAVIA, Zona lacustre 500. Fuente: Elaboración propia.

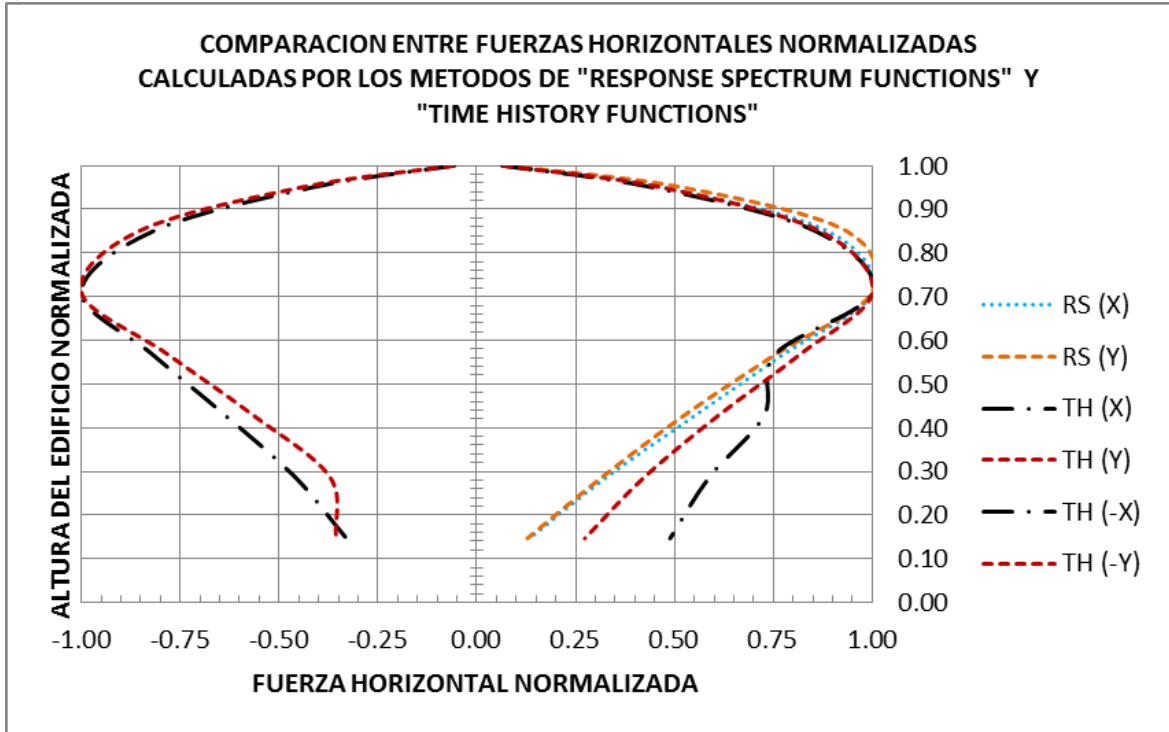


Resultados del edificio localizado en la estación CAVIA, Zona lacustre 500. Fuente: Elaboración propia.

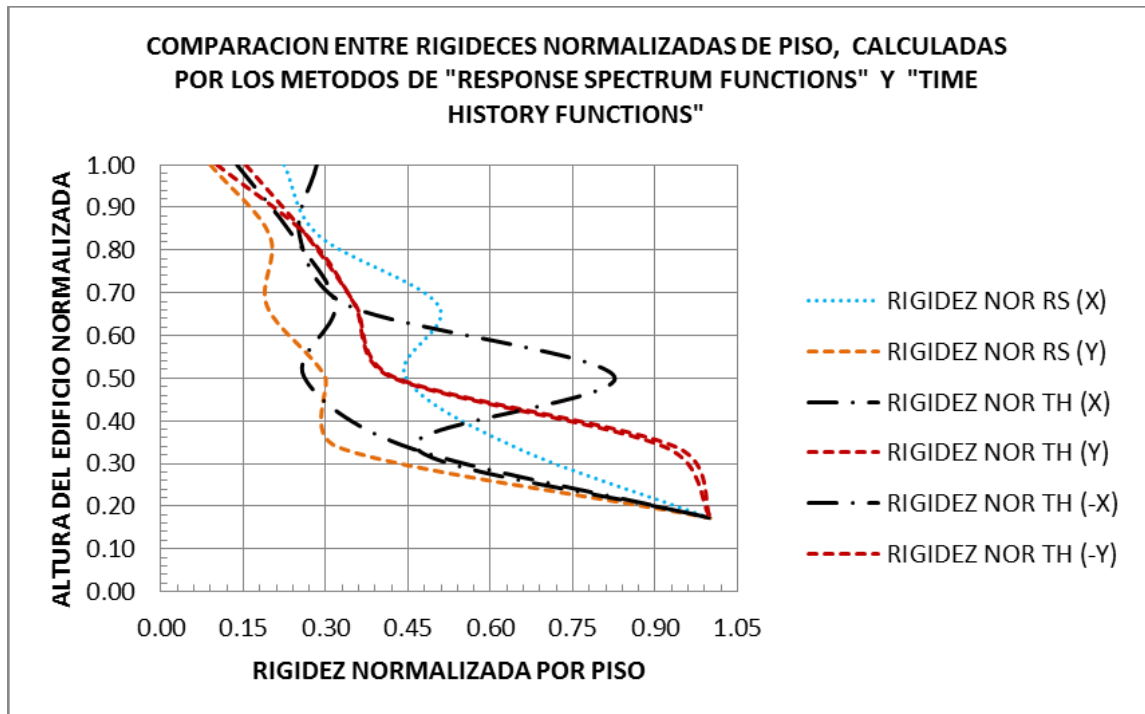


Resultados del edificio localizado en la estación CAVIA, Zona lacustre 500. Fuente: Elaboración propia.

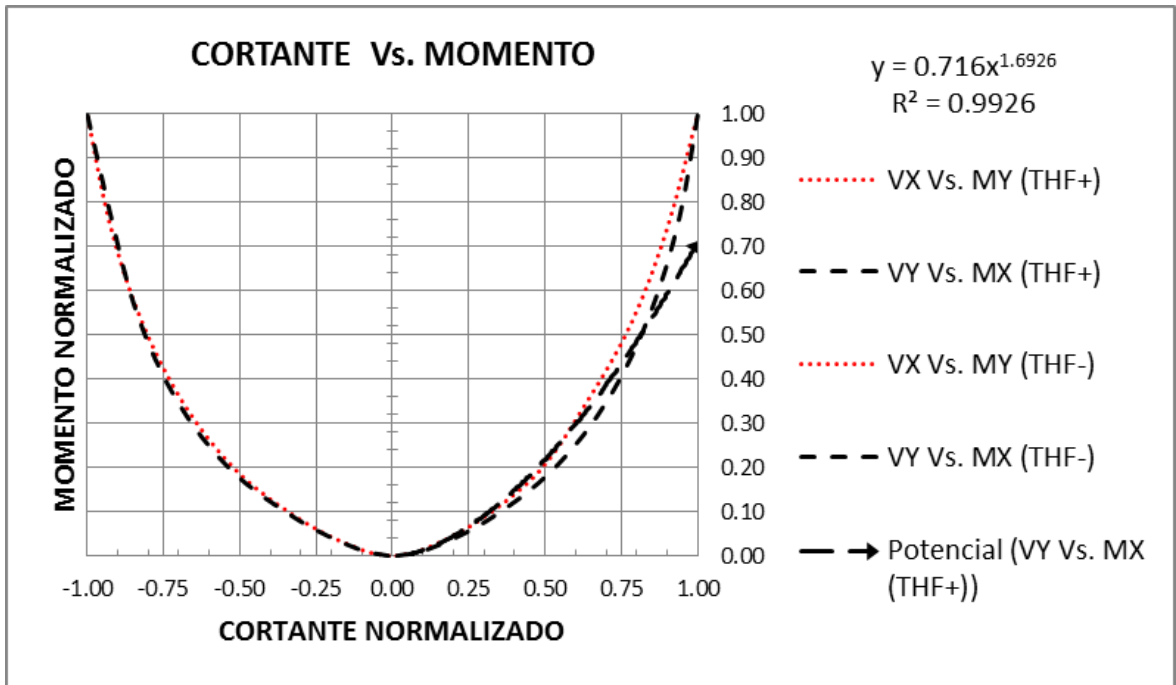
2) ESTACION "CBANC", ZONA LACUSTRE 50, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CBANC, Zona lacustre 50. Fuente: Elaboración propia.

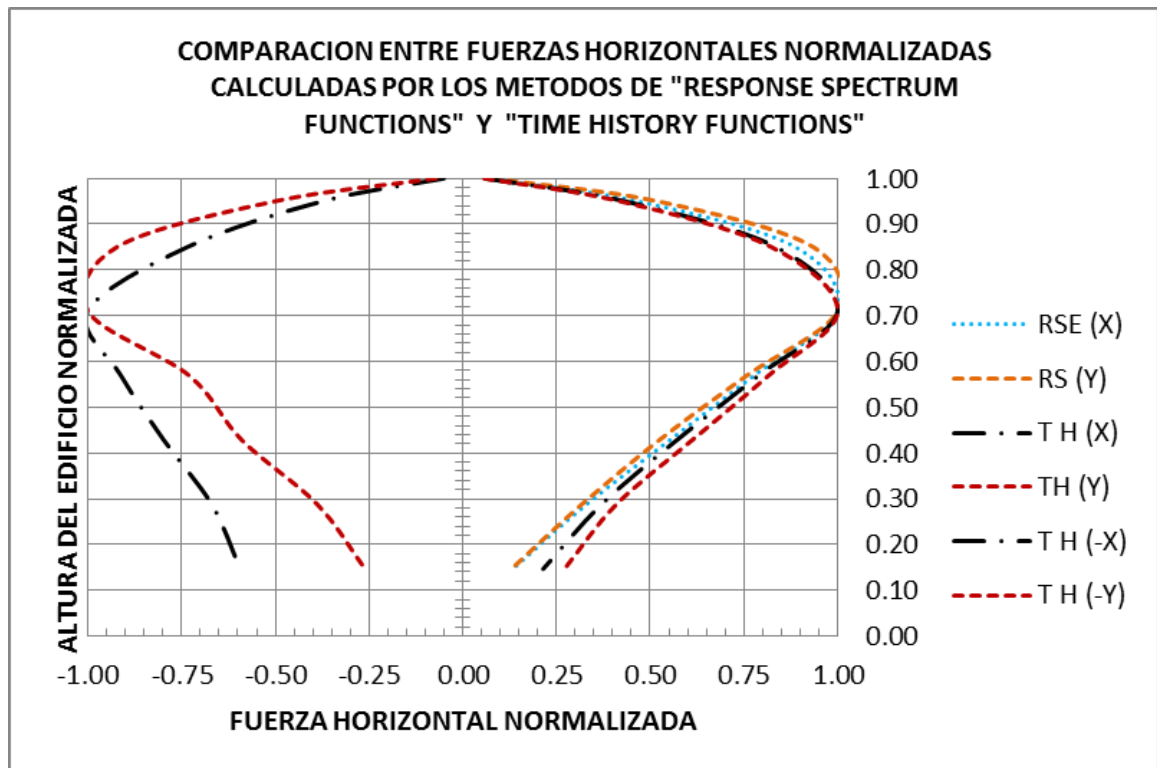


Resultados del edificio localizado en la estación CBANC, Zona lacustre 50. Fuente: Elaboración propia.

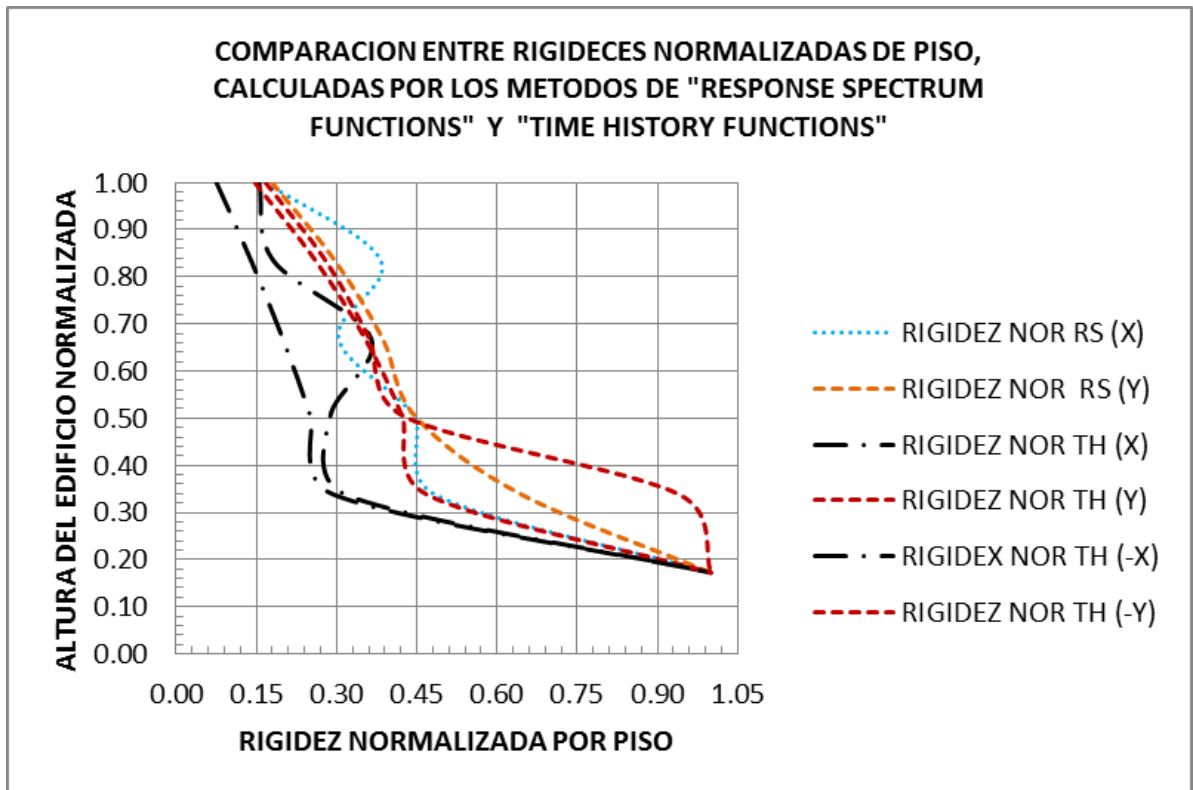


Resultados del edificio localizado en la estación CBANC, Zona lacustre 50. Fuente: Elaboración propia.

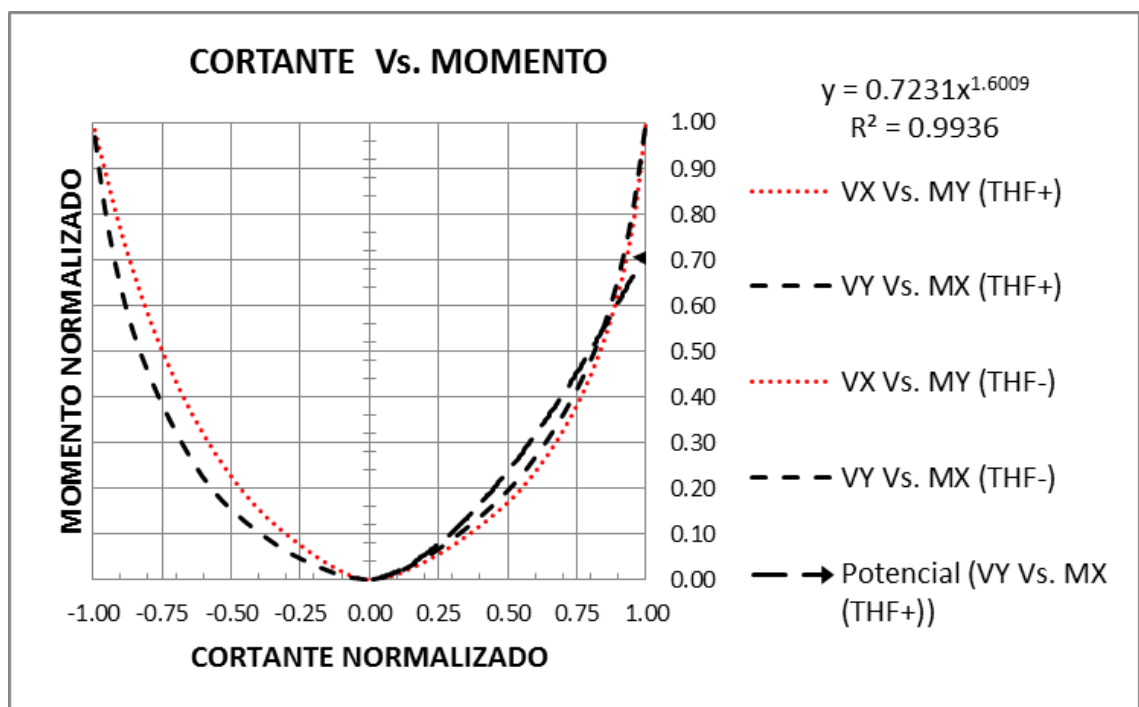
3) ESTACION "CBART", DEPOSITO LADERA, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CBART, Zona Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

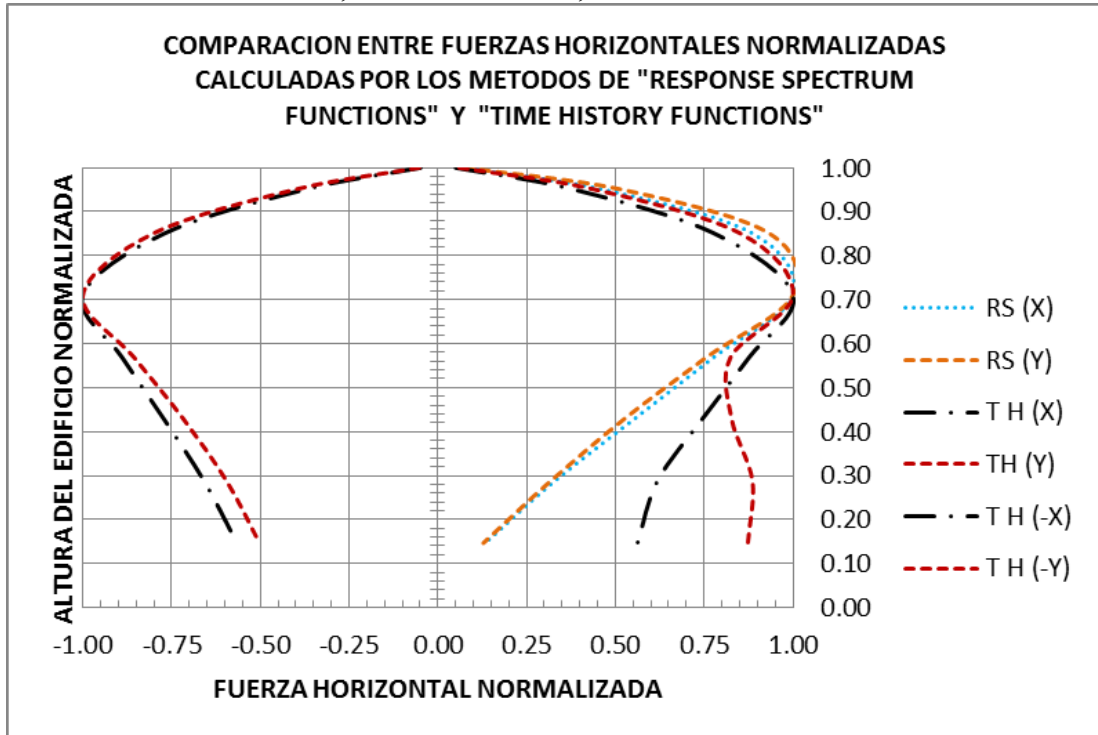


Resultados del edificio localizado en la estación CBART, Zona Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

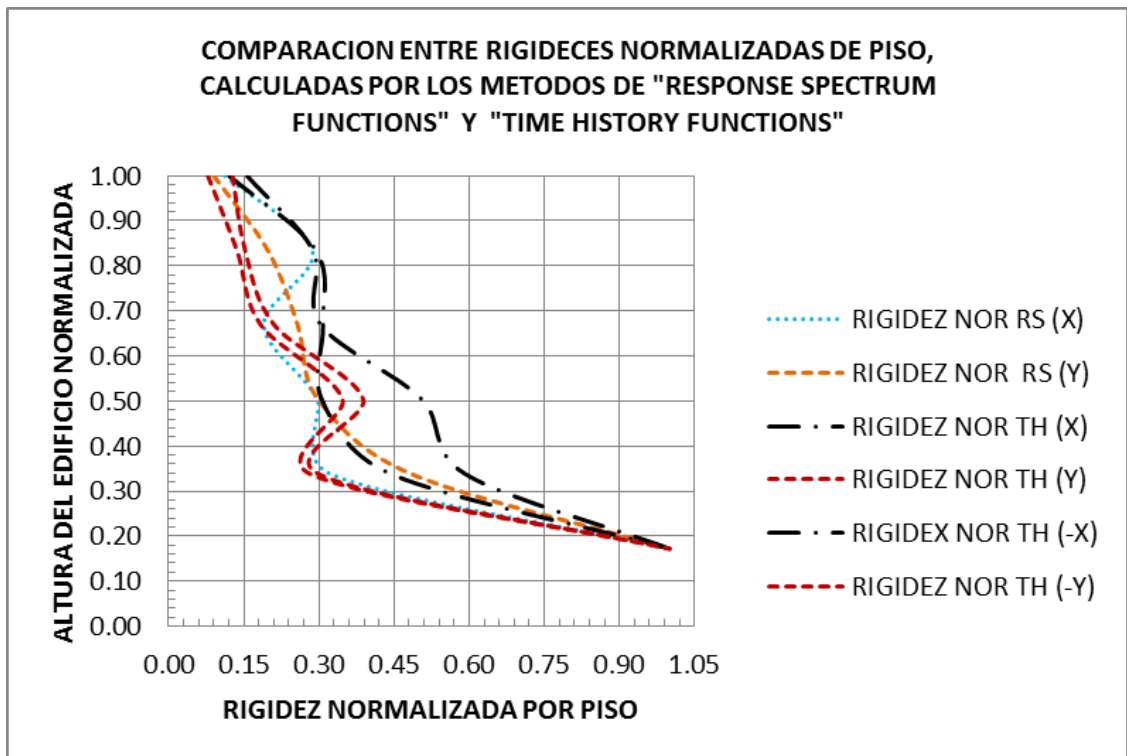


Resultados del edificio localizado en la estación CBART, Zona Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

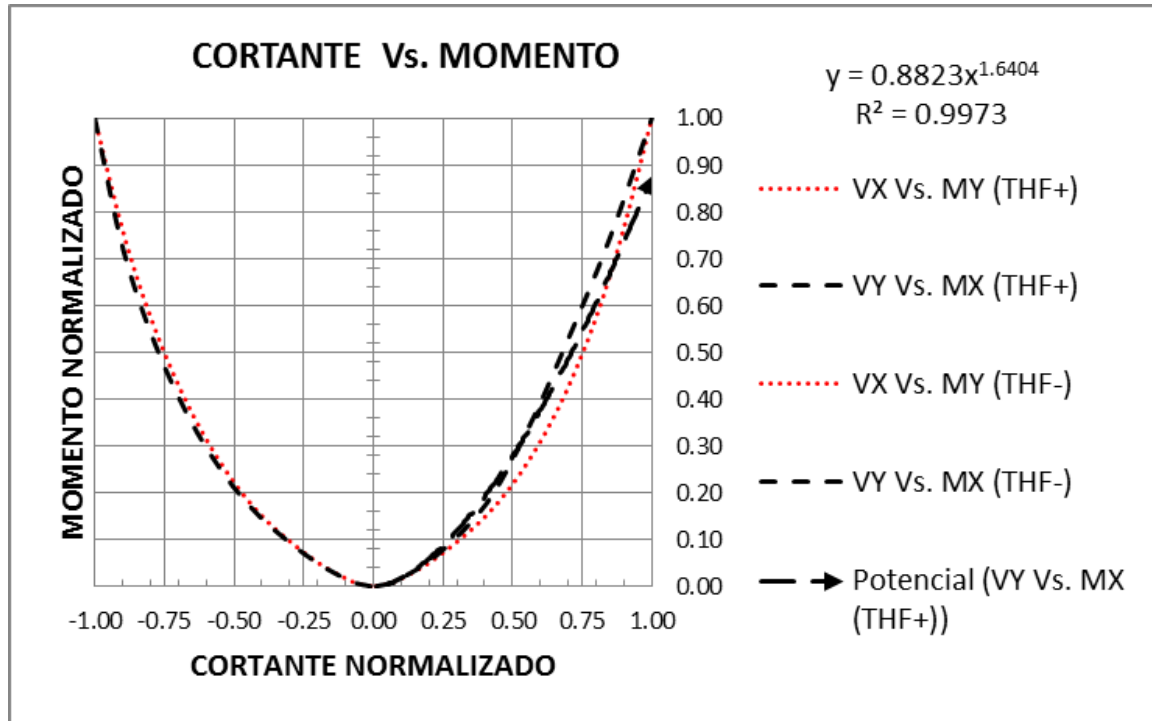
4) ESTACION "CBOG1", LACUSTRE 200, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CBOG1, Zona Lacustre 200. Fuente: Elaboración propia.

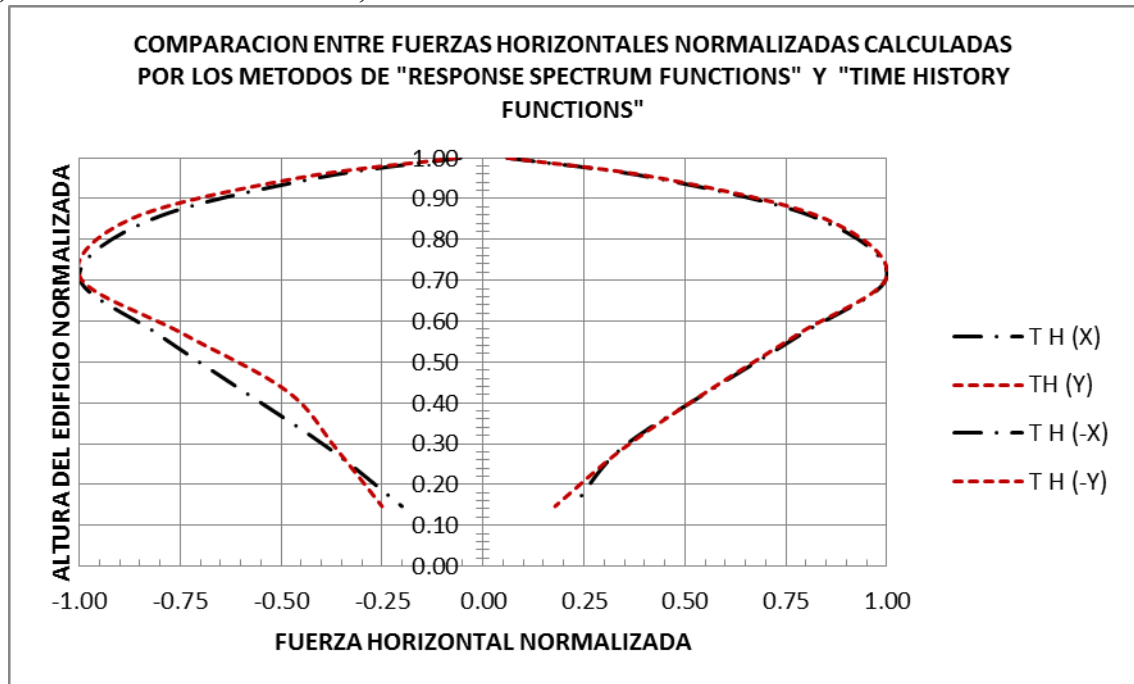


Resultados del edificio localizado en la estación CBOG1, Zona Lacustre 200. Fuente: Elaboración propia.



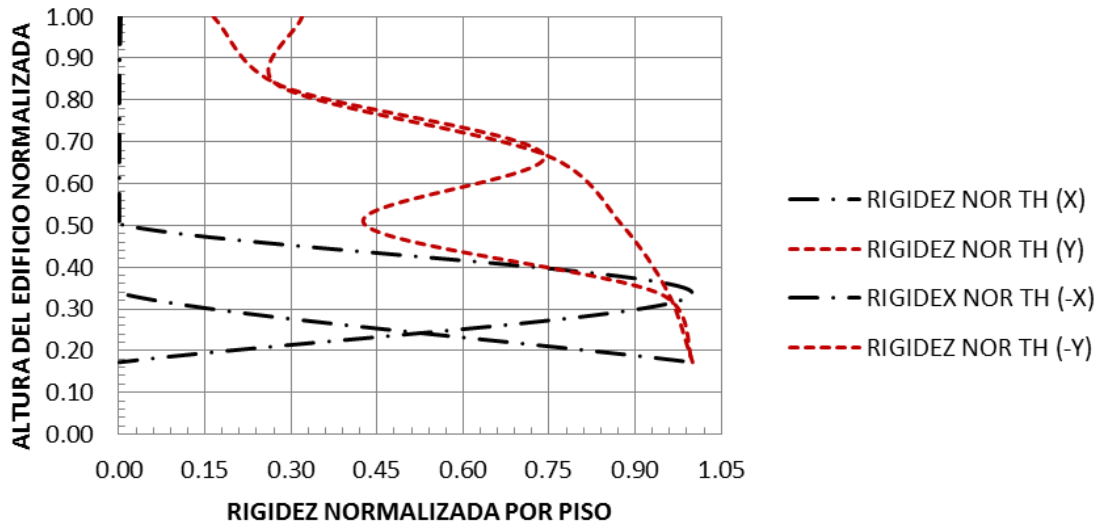
Resultados del edificio localizado en la estación CBOG1, Zona Lacustre 200. Fuente: Elaboración propia.

5) ESTACION "CBOG1", ROCA.



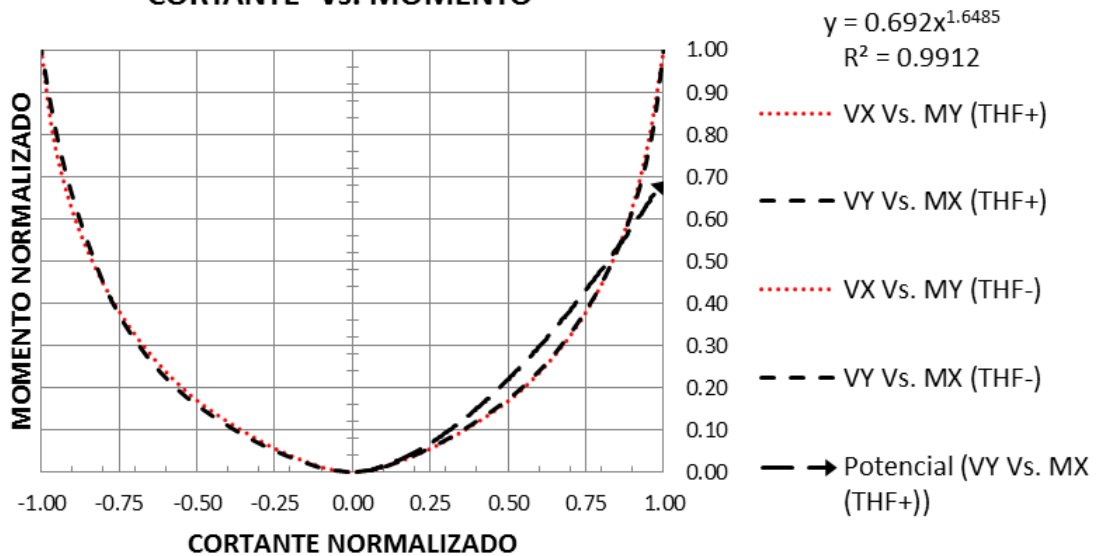
Resultados del edificio localizado en la estación CBOG1, Roca. Fuente: Elaboración propia.

**COMPARACION ENTRE RIGIDECES NORMALIZADAS DE PISO, CALCULADAS POR
LOS METODOS DE "RESPONSE SPECTRUM FUNCTIONS" Y "TIME HISTORY
FUNCTIONS"**



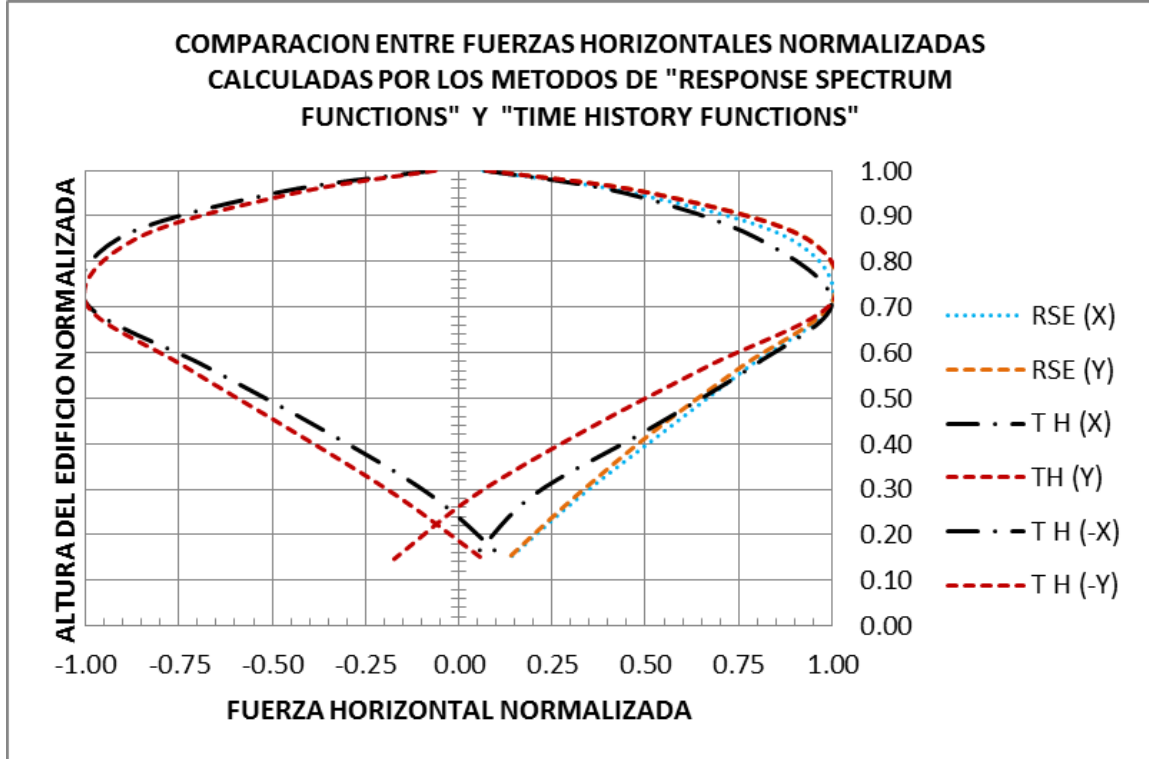
Resultados del edificio localizado en la estación CBOG1, Roca. Fuente: Elaboración propia

CORTANTE Vs. MOMENTO

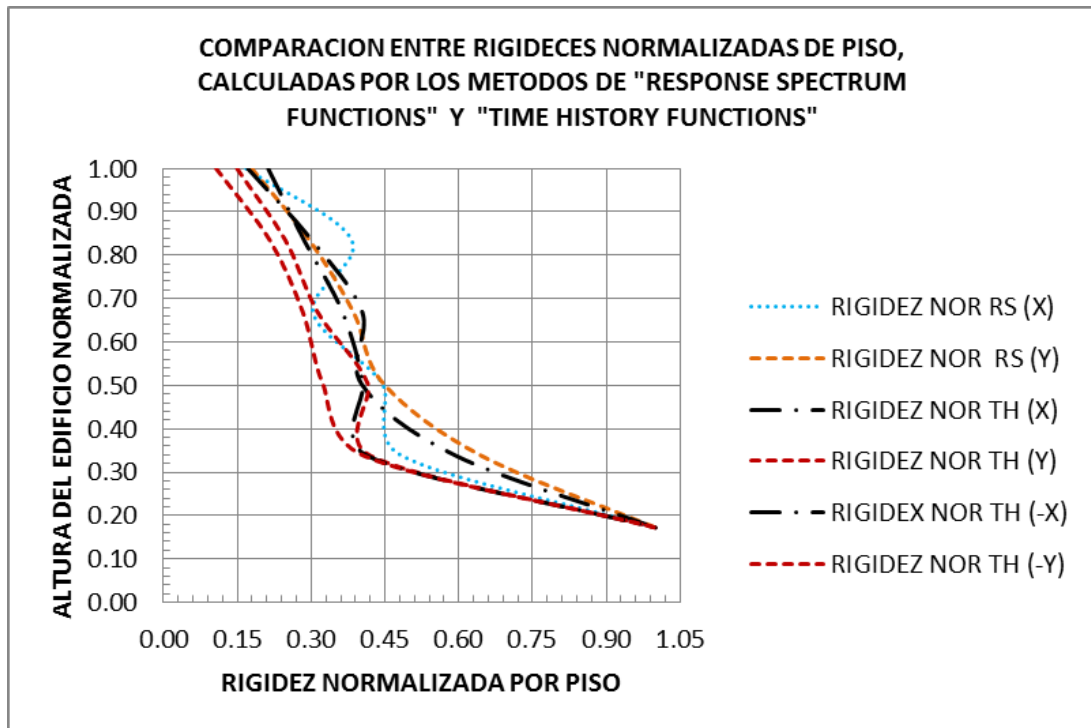


Resultados del edificio localizado en la estación CBOG1, Roca. Fuente: Elaboración propia.

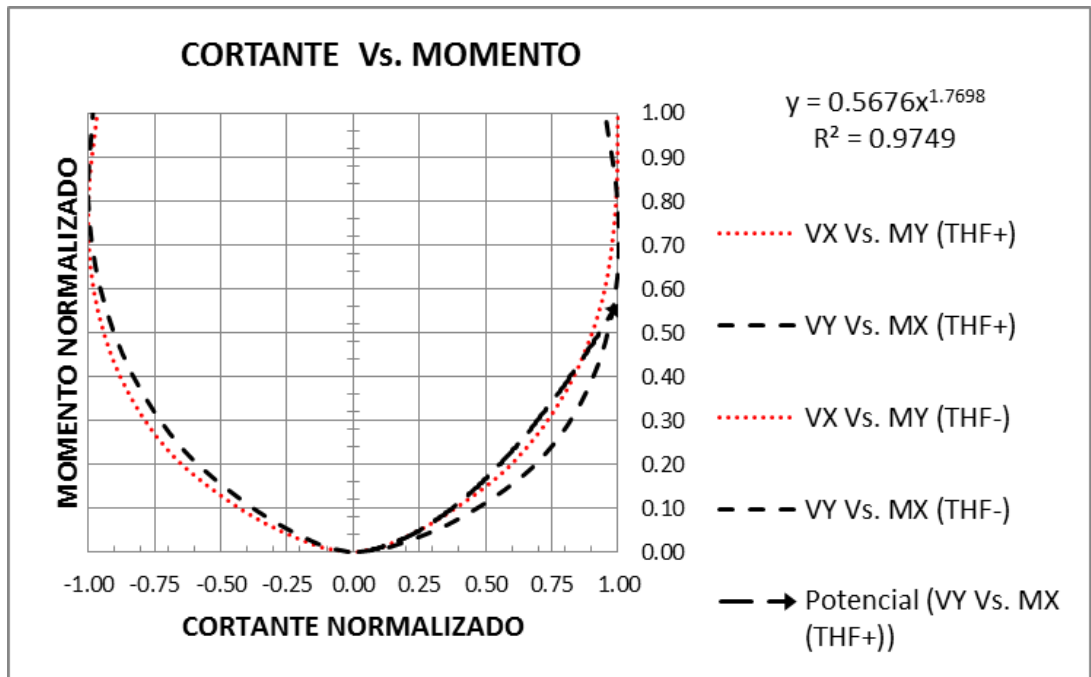
6) ESTACION "CBOG2", DEPOSITO LADERA, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CBOG2, Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

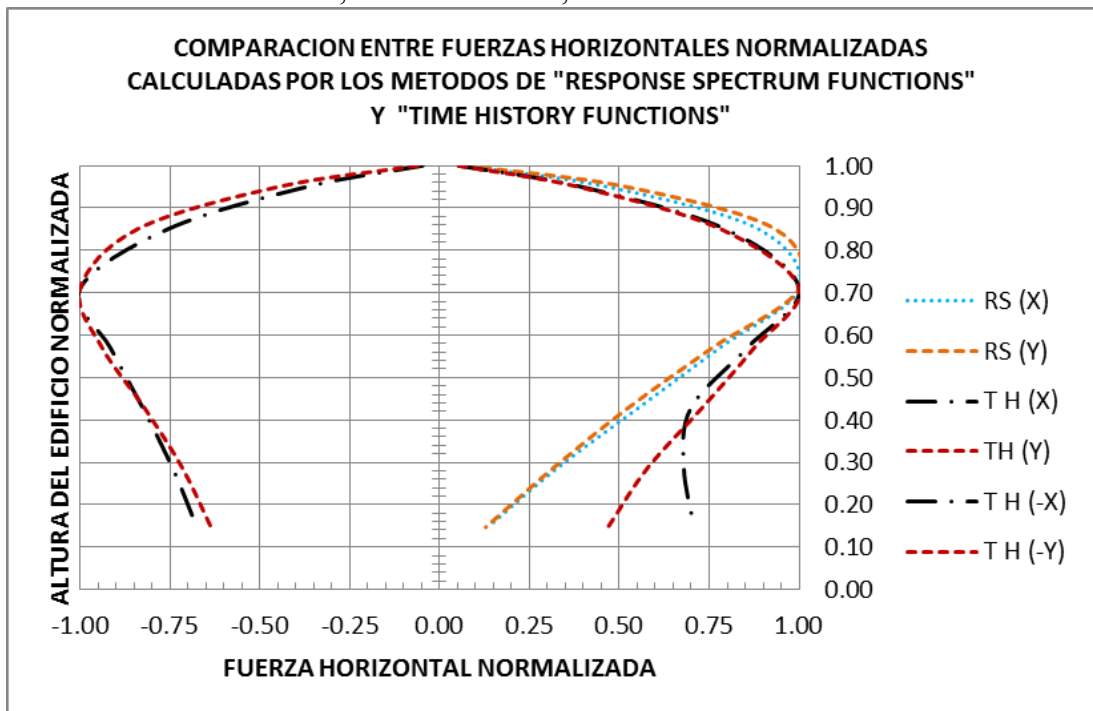


Resultados del edificio localizado en la estación CBOG2, Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.



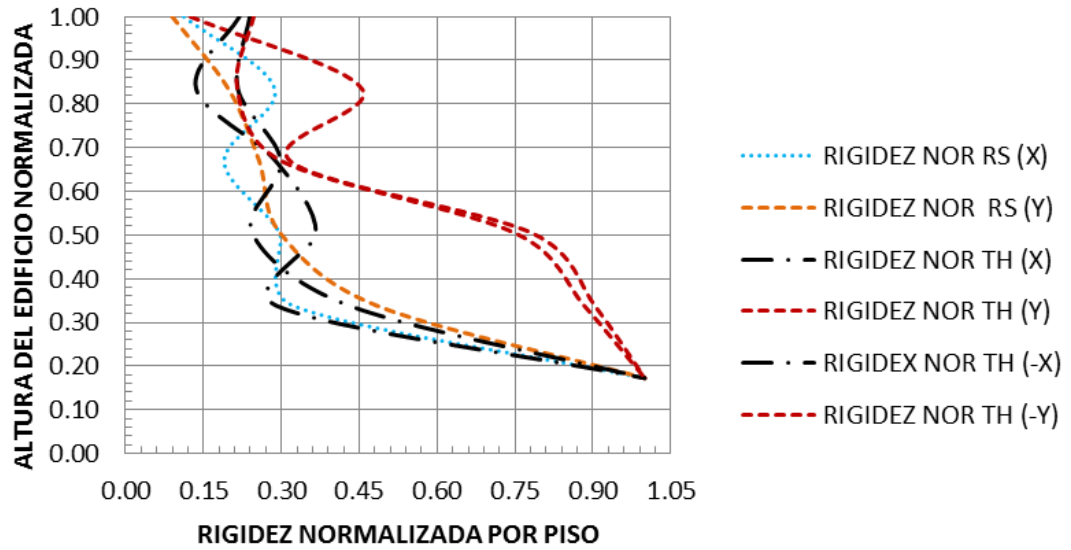
Resultados del edificio localizado en la estación CBOG2, Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

7) ESTACION “CBOSA”, ALUVIAL 100, MZSB-NSR-10.



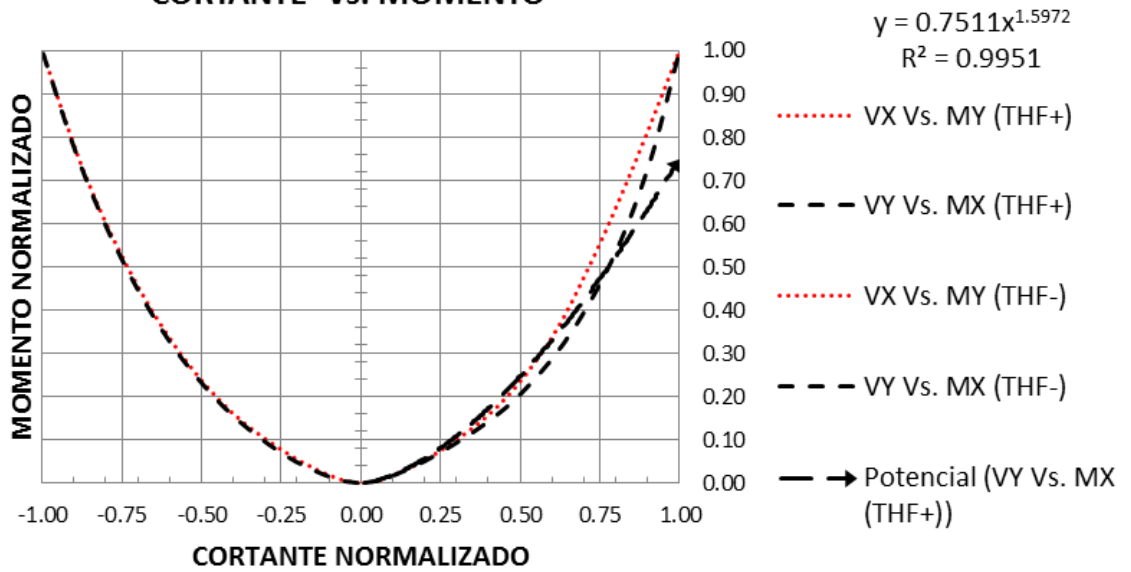
Resultados del edificio localizado en la estación CBOSA, Aluvial 100. Fuente: Elaboración propia.

COMPARACION ENTRE RIGIDECES NORMALIZADAS DE PISO, CALCULADAS POR LOS METODOS DE "RESPONSE SPECTRUM FUNCTIONS" Y "TIME HISTORY FUNCTIONS"



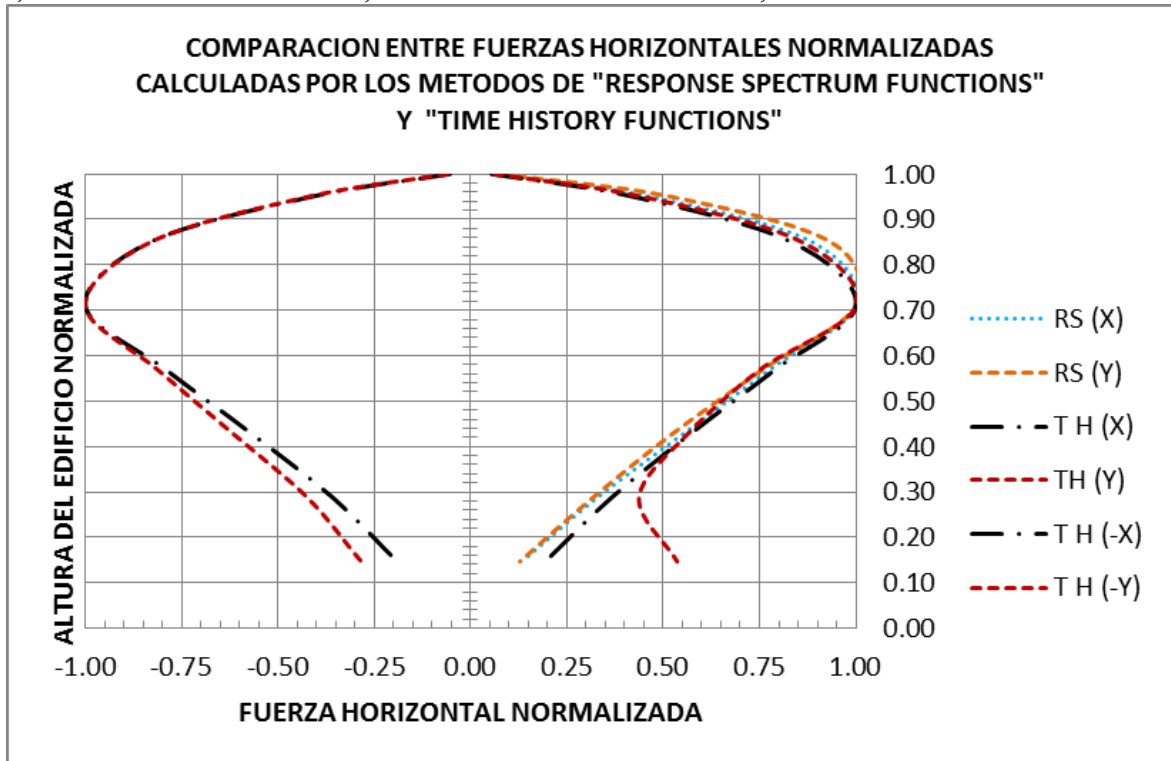
Resultados del edificio localizado en la estación CBOSA, Aluvial 100. Fuente: Elaboración propia.

CORTANTE Vs. MOMENTO

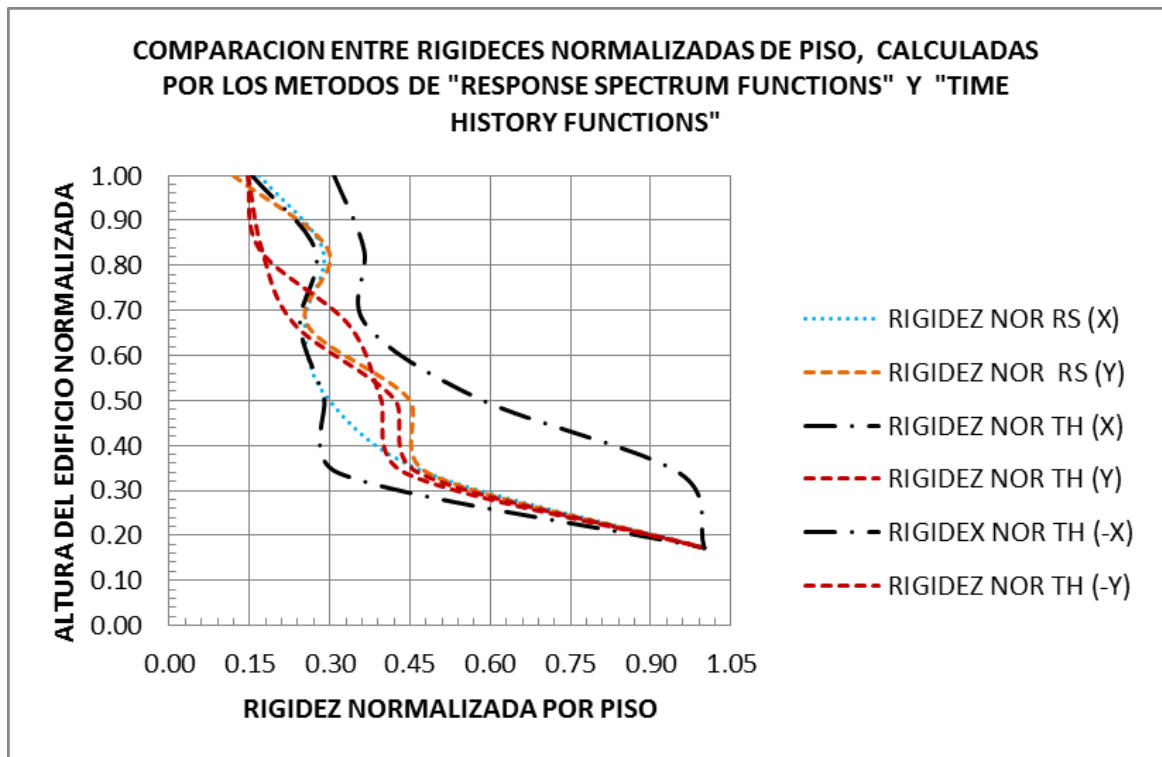


Resultados del edificio localizado en la estación CBOSA, Aluvial 100. Fuente: Elaboración propia.

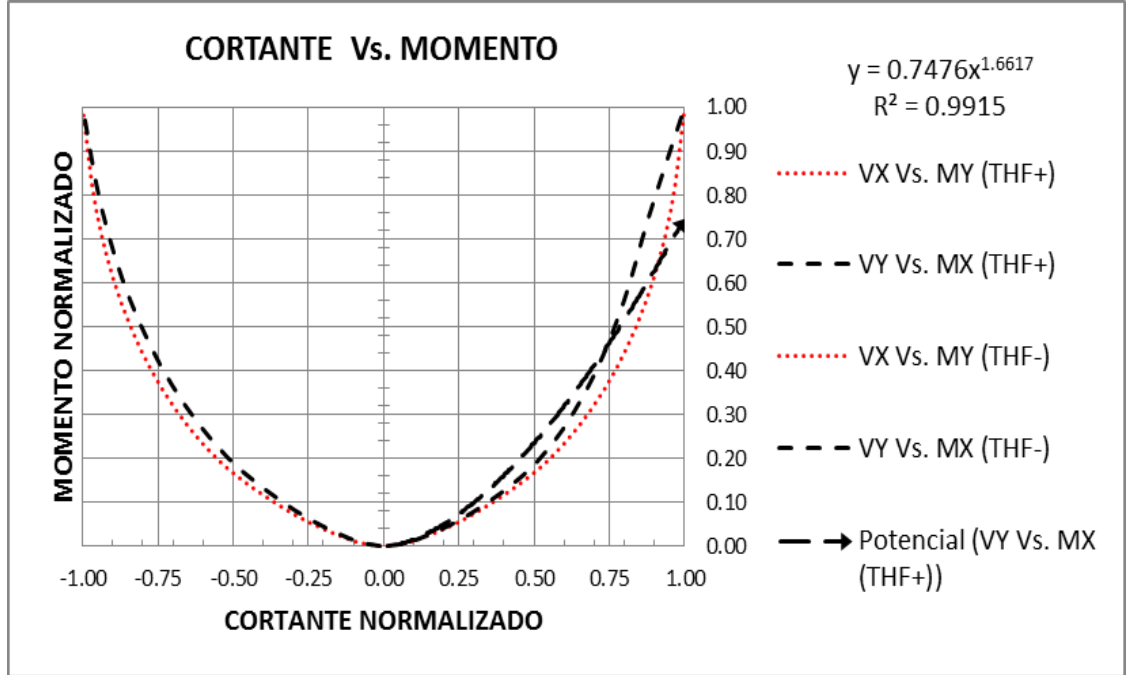
8) ESTACION "CCITE", LACUSTRE ALUVIAL 300, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CCITE, Lacustre Aluvial 300. Fuente: Elaboración propia

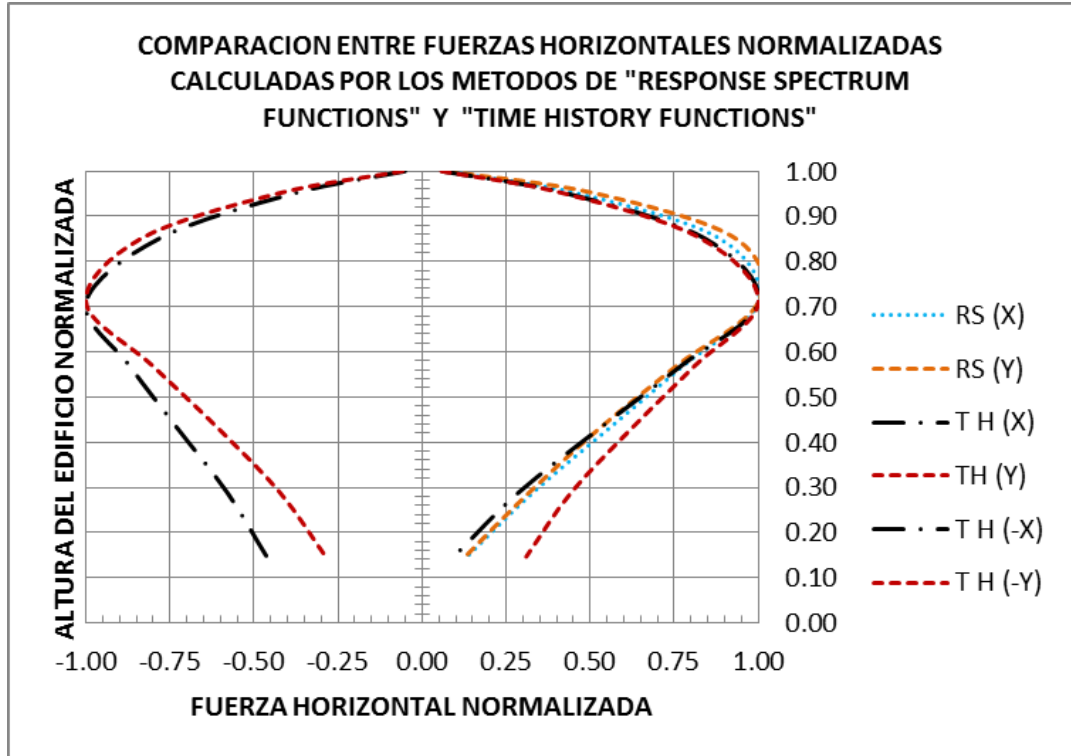


Resultados del edificio localizado en la estación CCITE, Lacustre Aluvial 300. Fuente: Elaboración propia

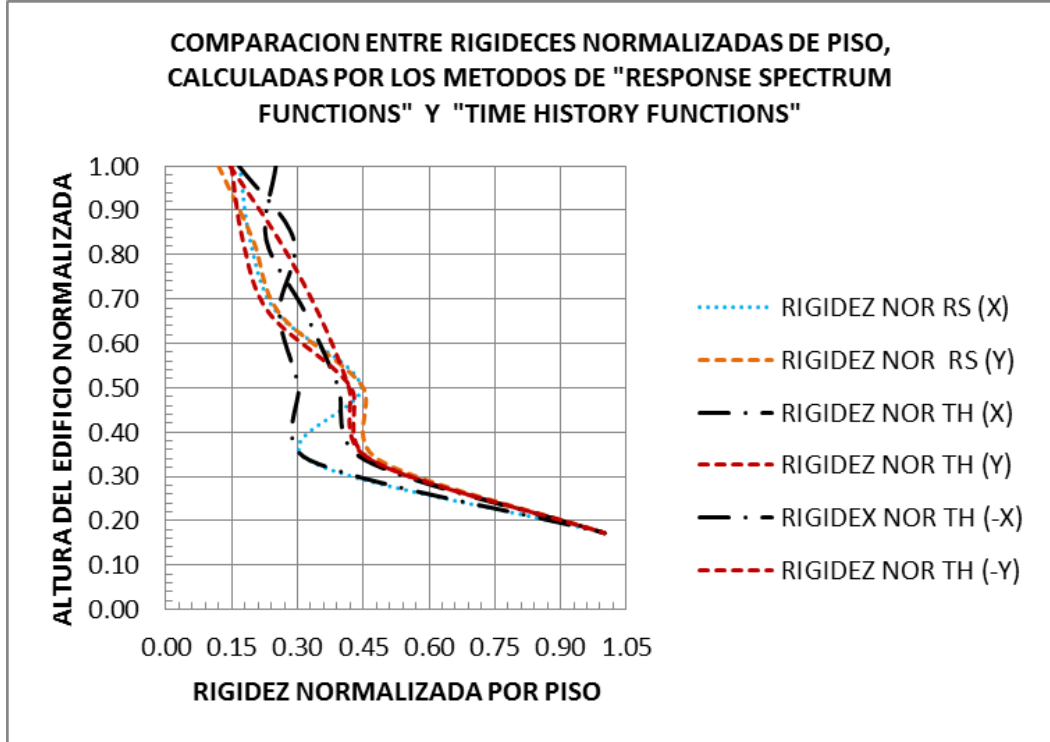


Resultados del edificio localizado en la estación CCITE, Lacustre Aluvial 300. Fuente: Elaboración propia.

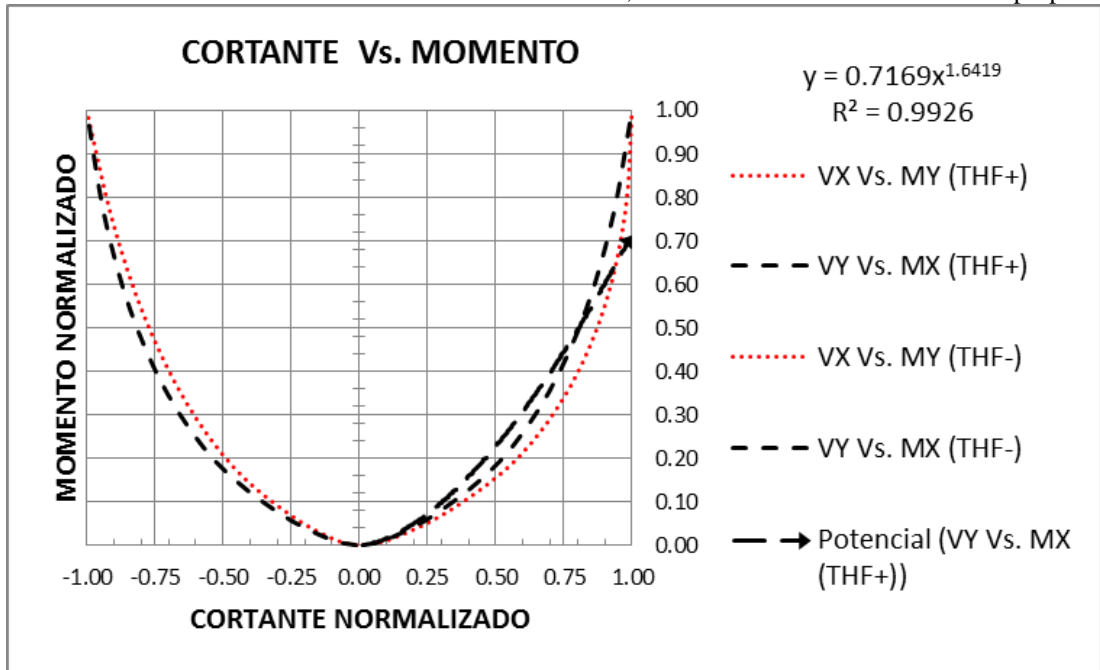
9) ESTACION "CCORP", LACUSTRE 300, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CCORP, Lacustre 300. Fuente: Elaboración propia.

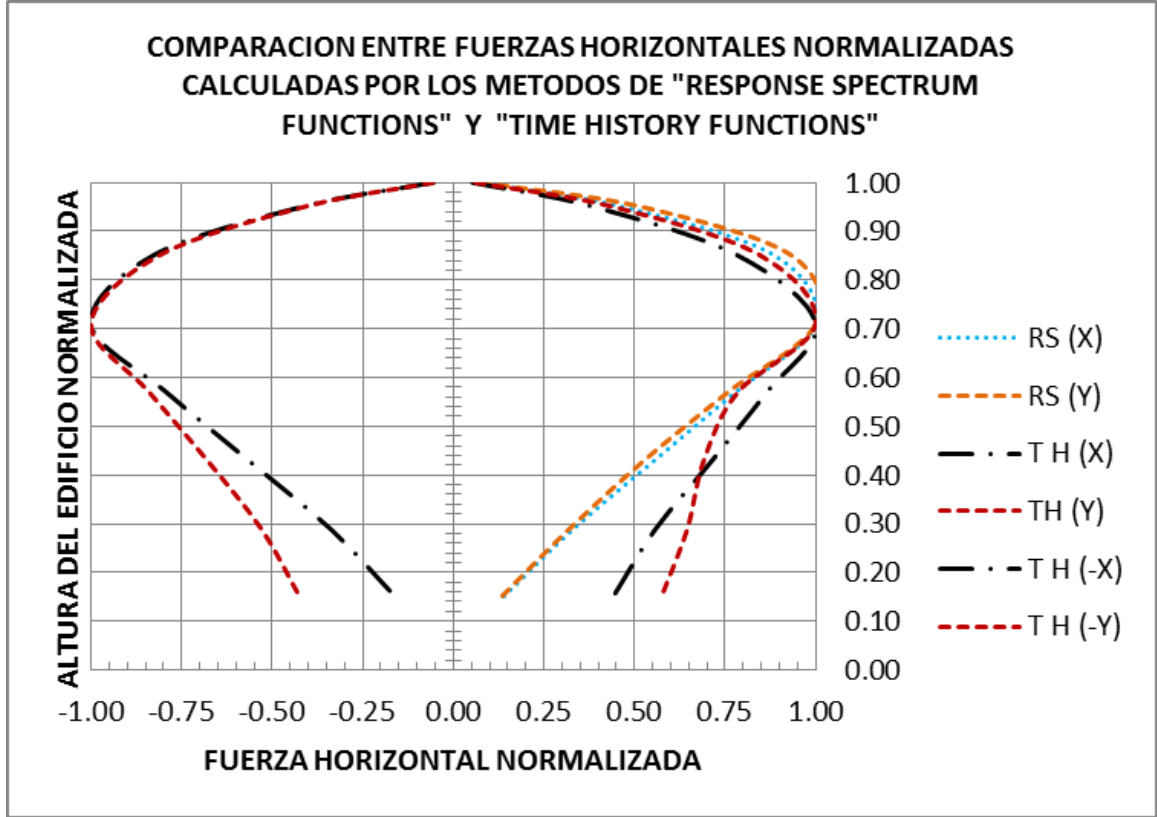


Resultados del edificio localizado en la estación CCORP, Lacustre 300. Fuente: Elaboración propia.

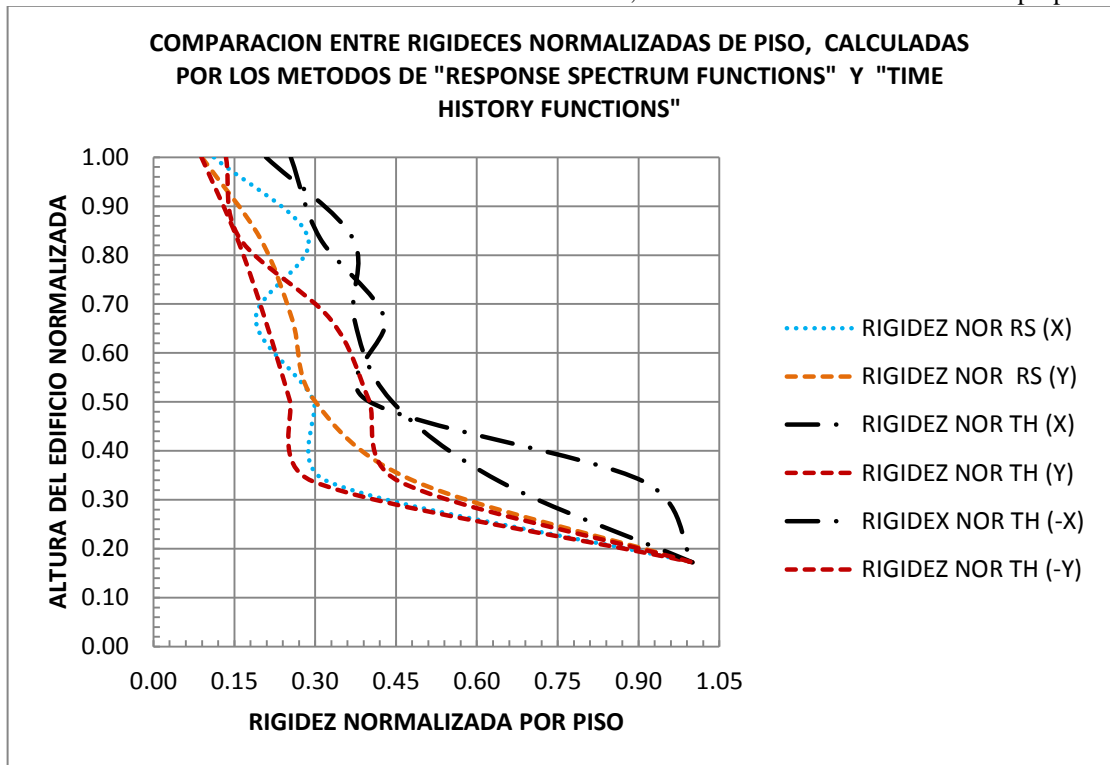


Resultados del edificio localizado en la estación CCORP, Lacustre 300. Fuente: Elaboración propia.

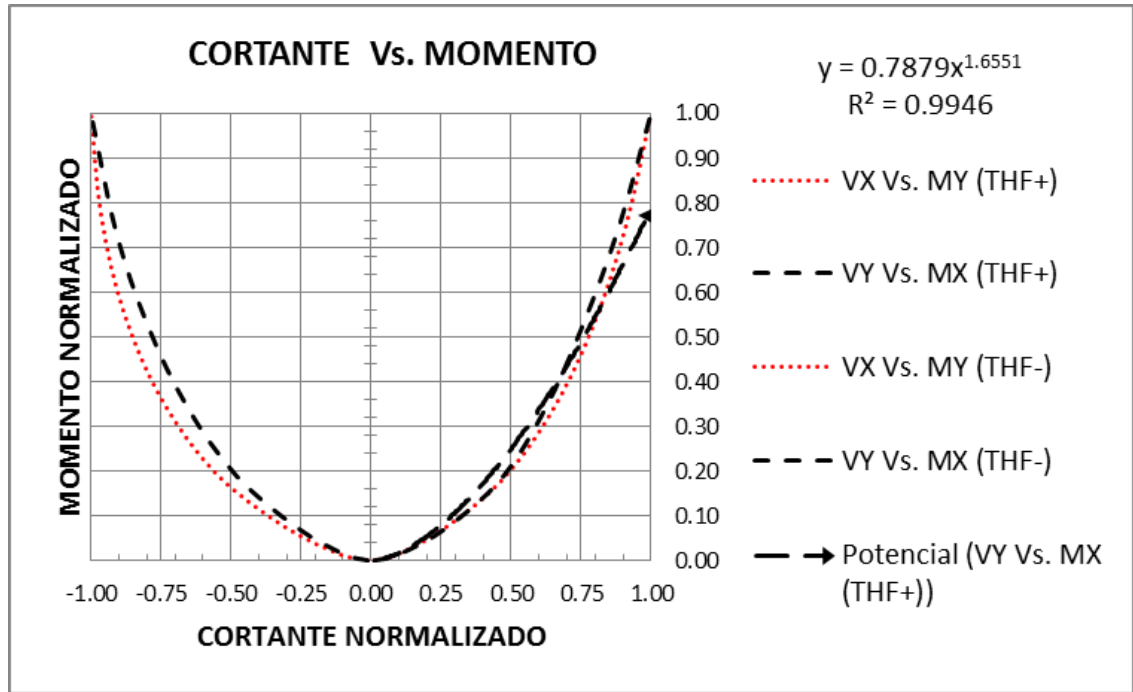
10) ESTACION "CEING", LACUSTRE 200, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CEING, Lacustre 200. Fuente: Elaboración propia.

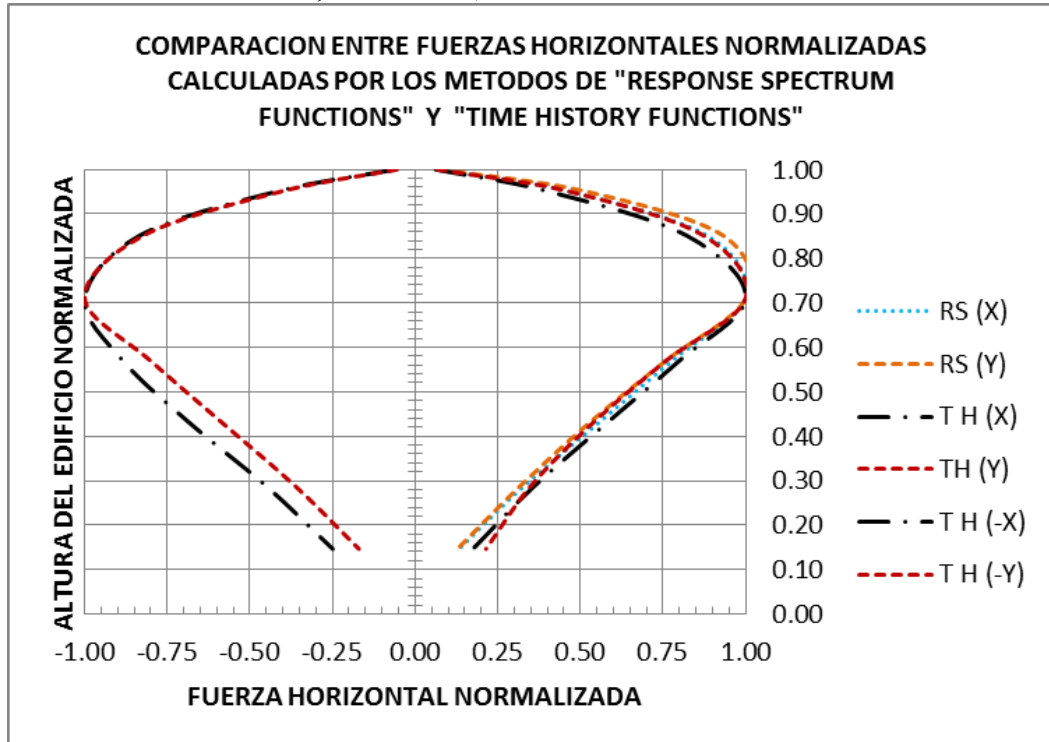


Resultados del edificio localizado en la estación CEING, Lacustre 200. Fuente: Elaboración propia.

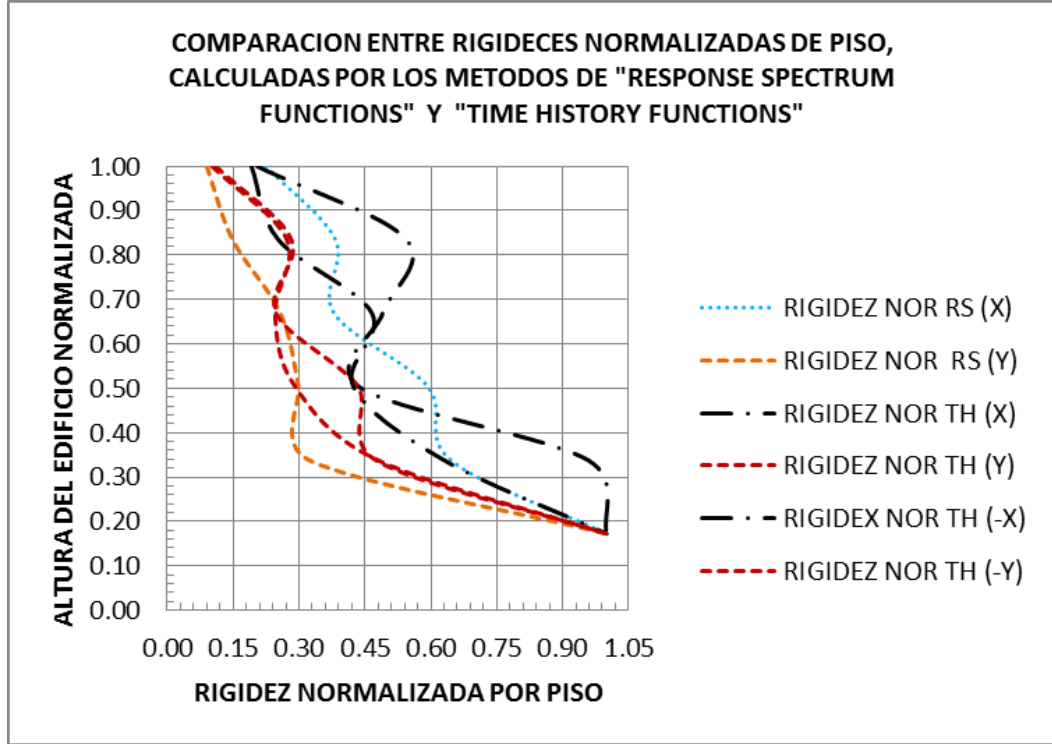


Resultados del edificio localizado en la estación CEING, Lacustre 200. Fuente: Elaboración propia.

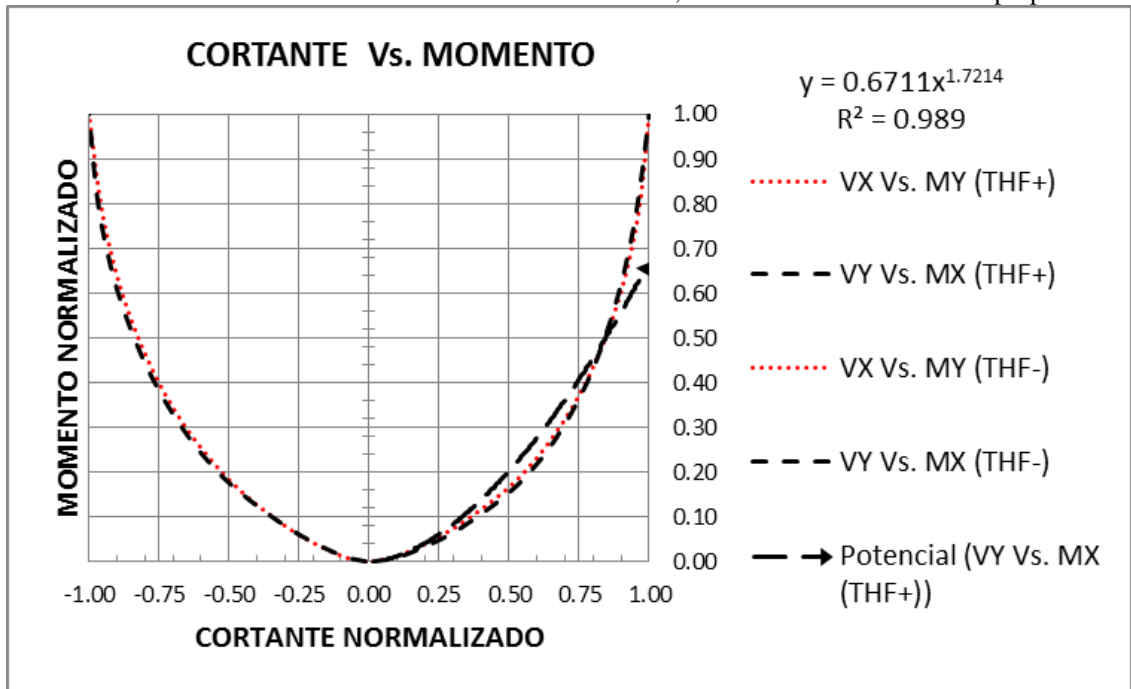
11) ESTACION "CESCA", CERROS, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CESCA, Cerros. Fuente: Elaboración propia.

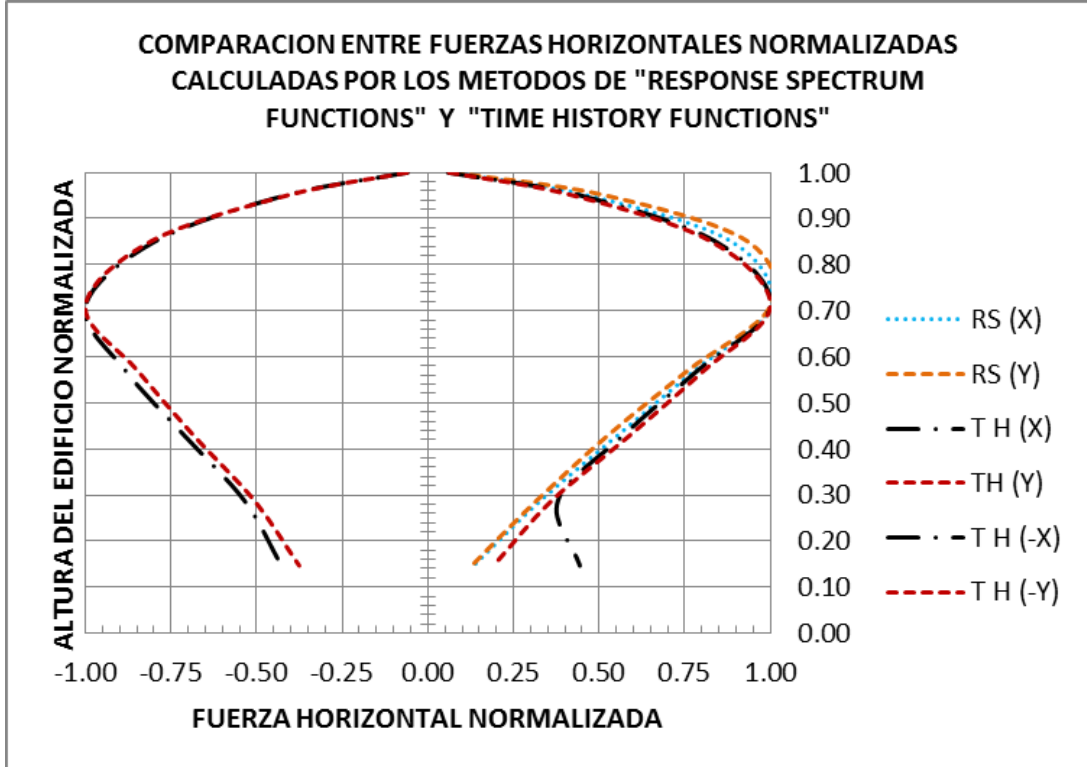


Resultados del edificio localizado en la estación CESCA, Cerros. Fuente: Elaboración propia.

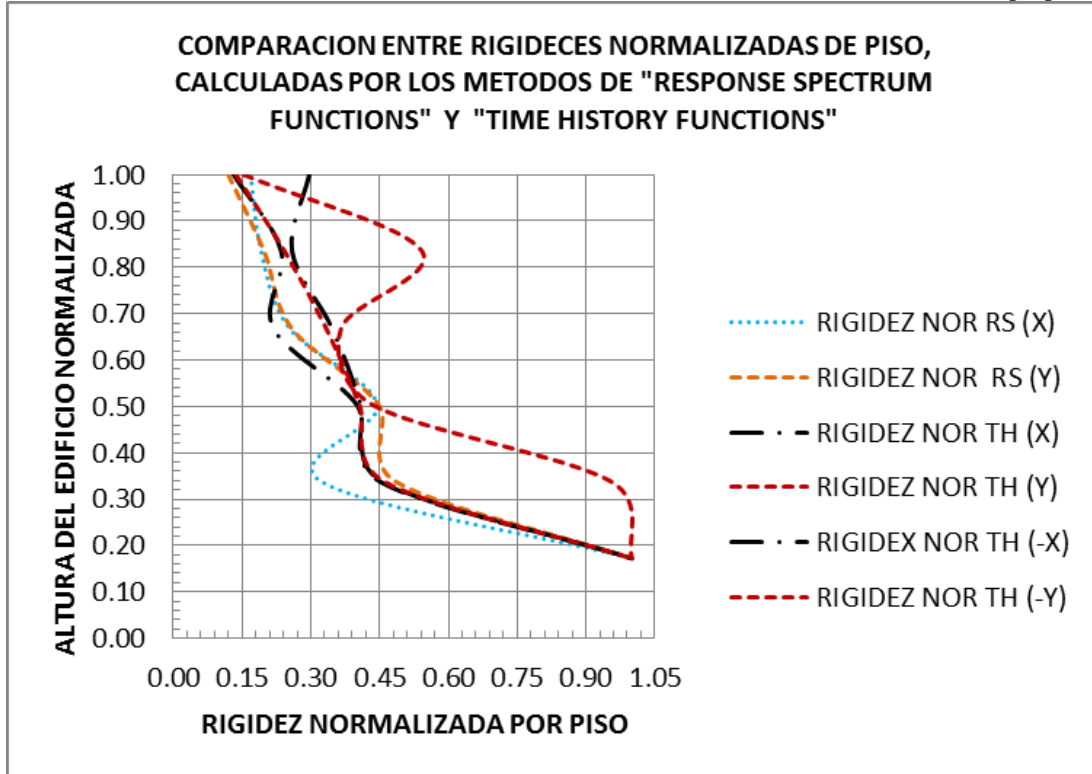


Resultados del edificio localizado en la estación CESCA, Cerros. Fuente: Elaboración propia.

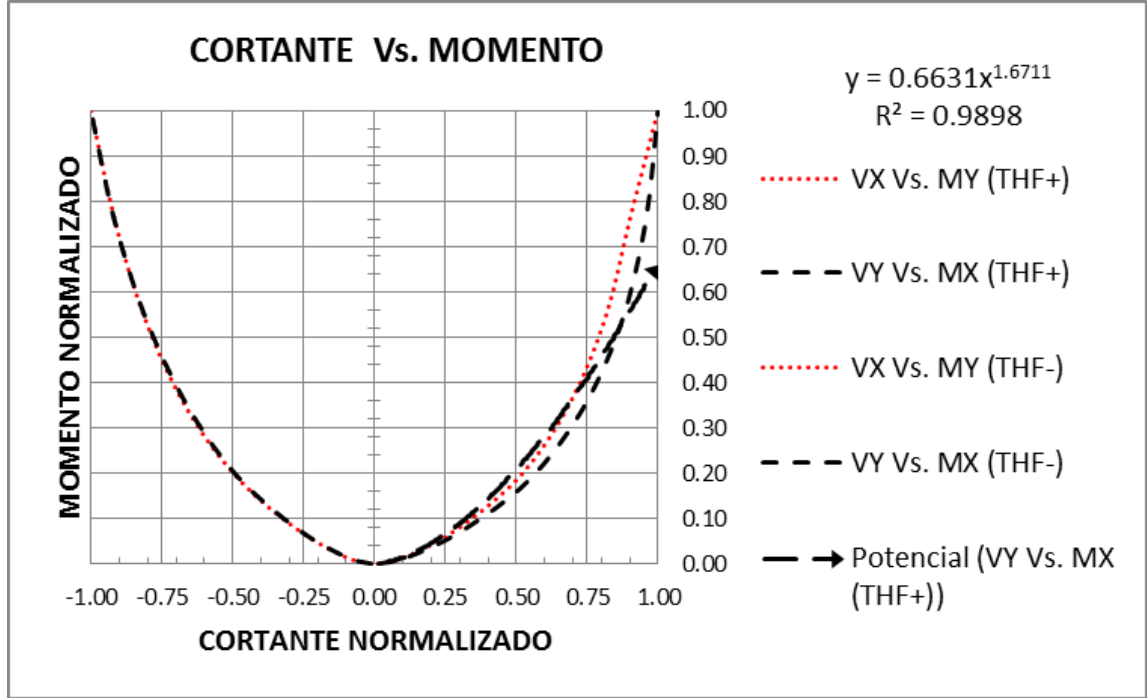
12) ESTACION "CGRAL", ALUVIAL 200, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CGRAL, Aluvial 200. Fuente: Elaboración propia.

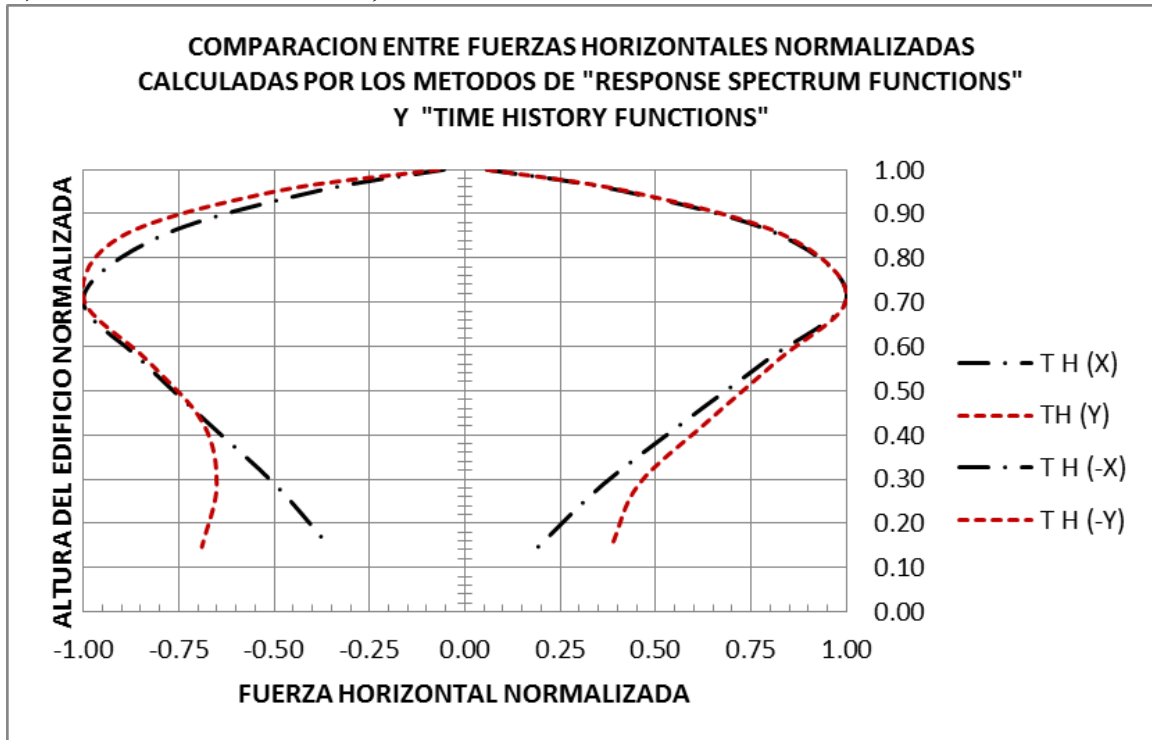


Resultados del edificio localizado en la estación CGRAL, Aluvial 200. Fuente: Elaboración propia.

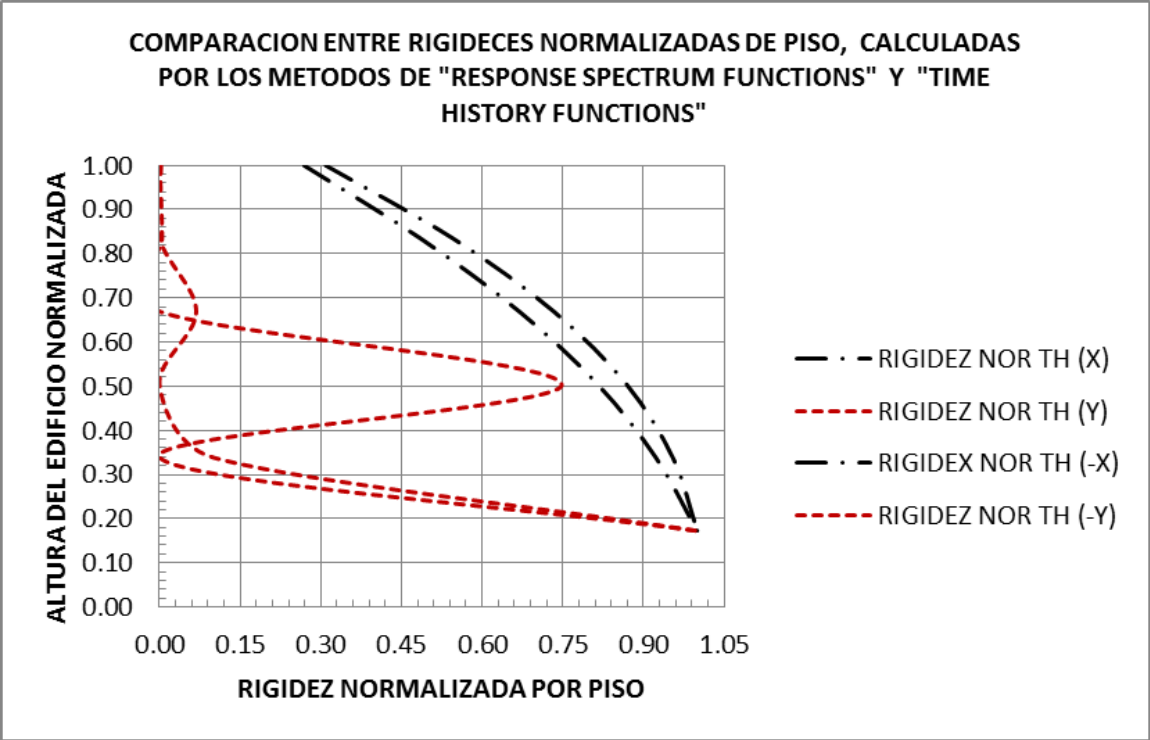


Resultados del edificio localizado en la estación CGRAL, Aluvial 200. Fuente: Elaboración propia.

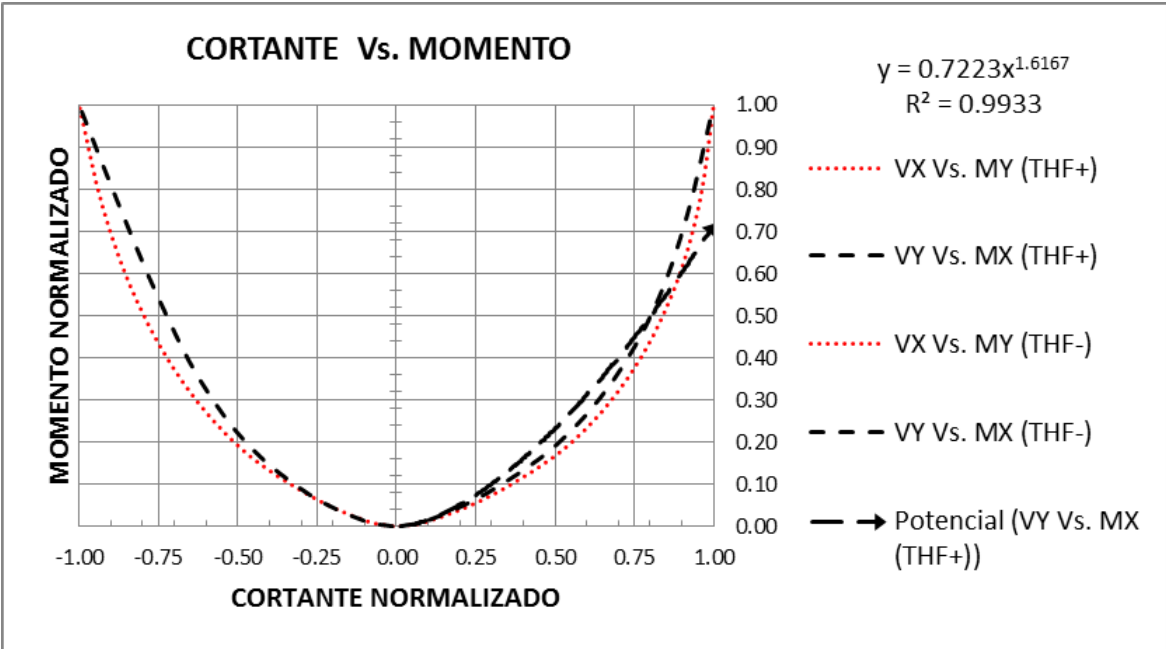
13) ESTACION "CGRAL", ROCA.



Resultados del edificio localizado en la estación CGRAL, Roca. Fuente: Elaboración propia.

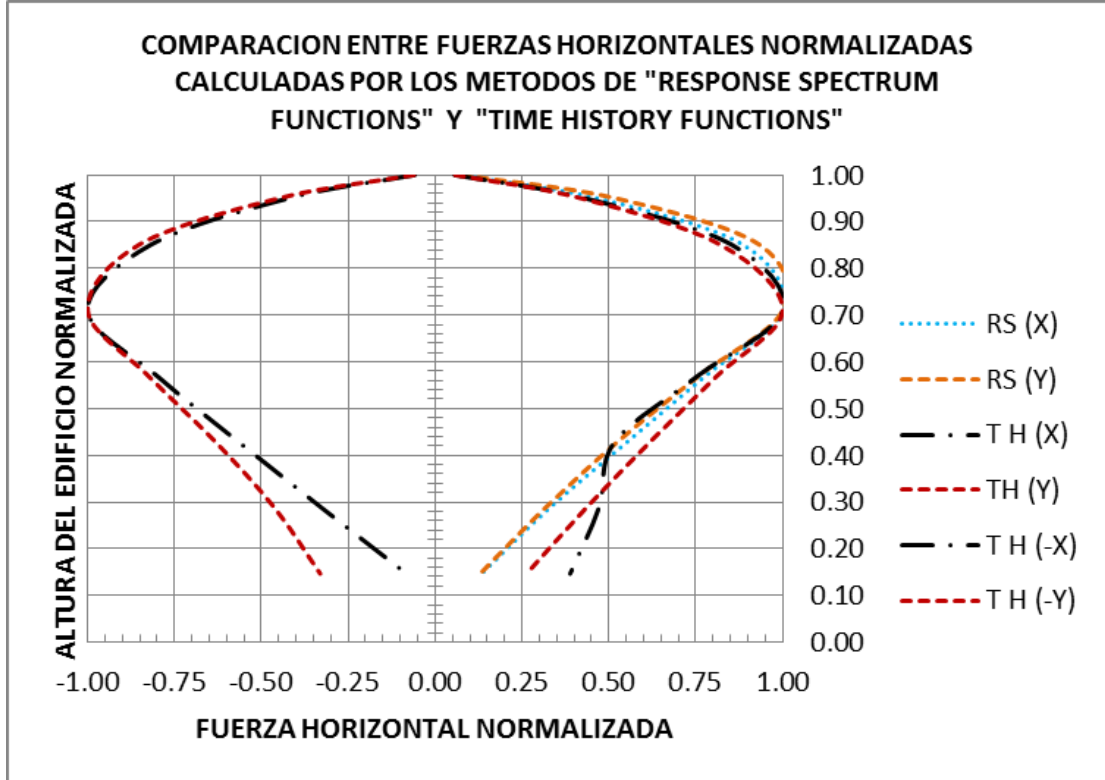


Resultados del edificio localizado en la estación CGRAL, Roca. Fuente: Elaboración propia.

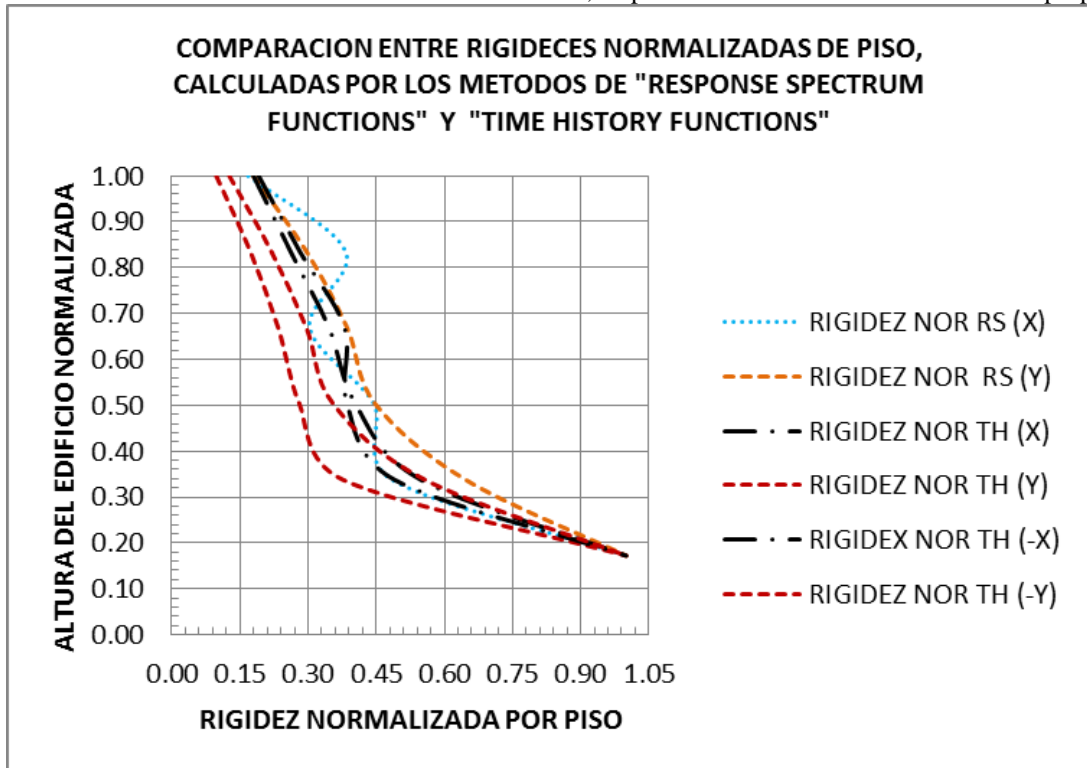


Resultados del edificio localizado en la estación CGRAL, Roca. Fuente: Elaboración propia.

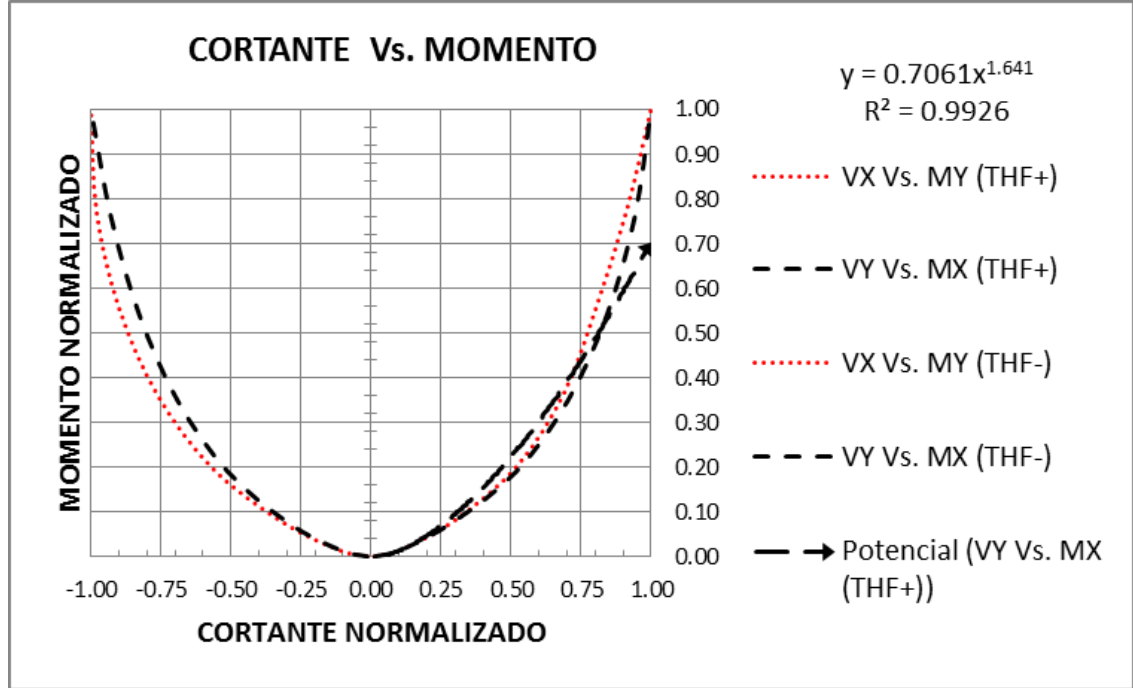
14) ESTACION "CMARI", DEPOSITO DE LADERA, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CMARI, Deposito de Ladera. Fuente: Elaboración propia.

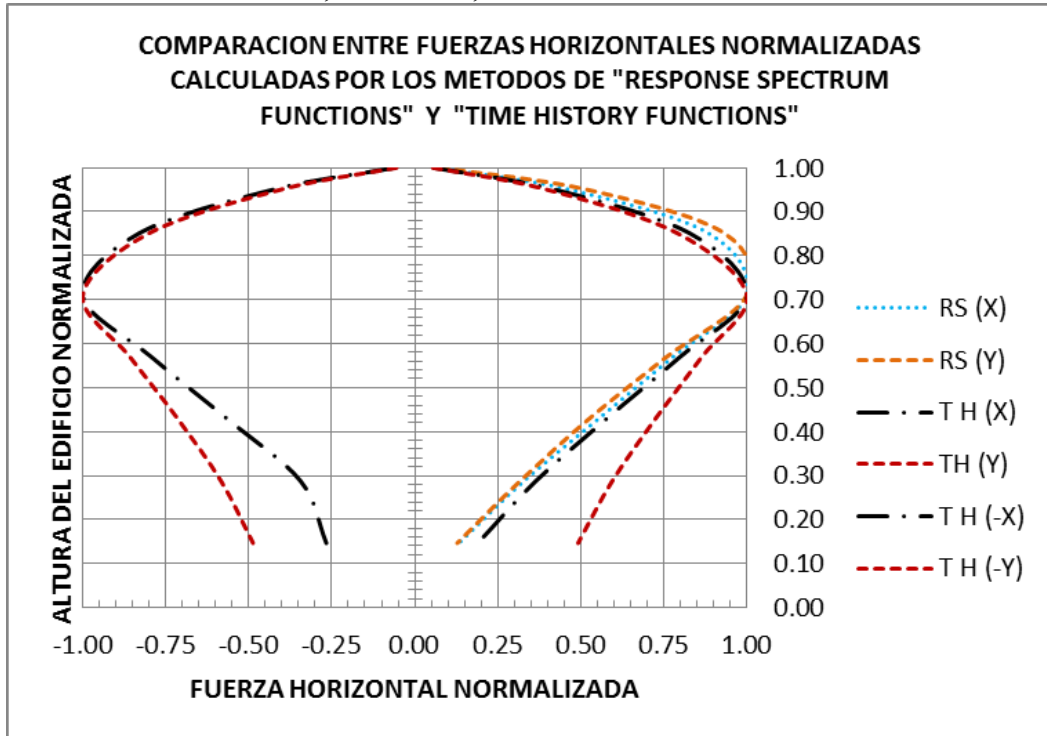


Resultados del edificio localizado en la estación CMARI, Deposito de Ladera. Fuente: Elaboración propia.

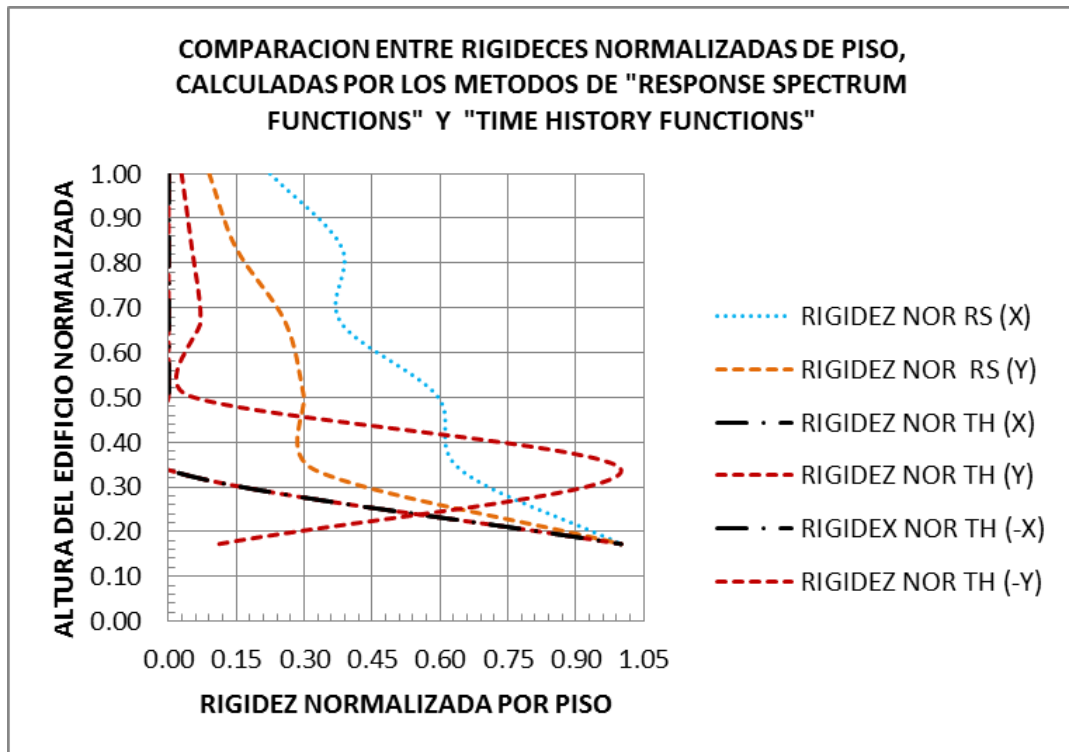


Resultados del edificio localizado en la estación CMARI, Deposito de Ladera. Fuente: Elaboración propia.

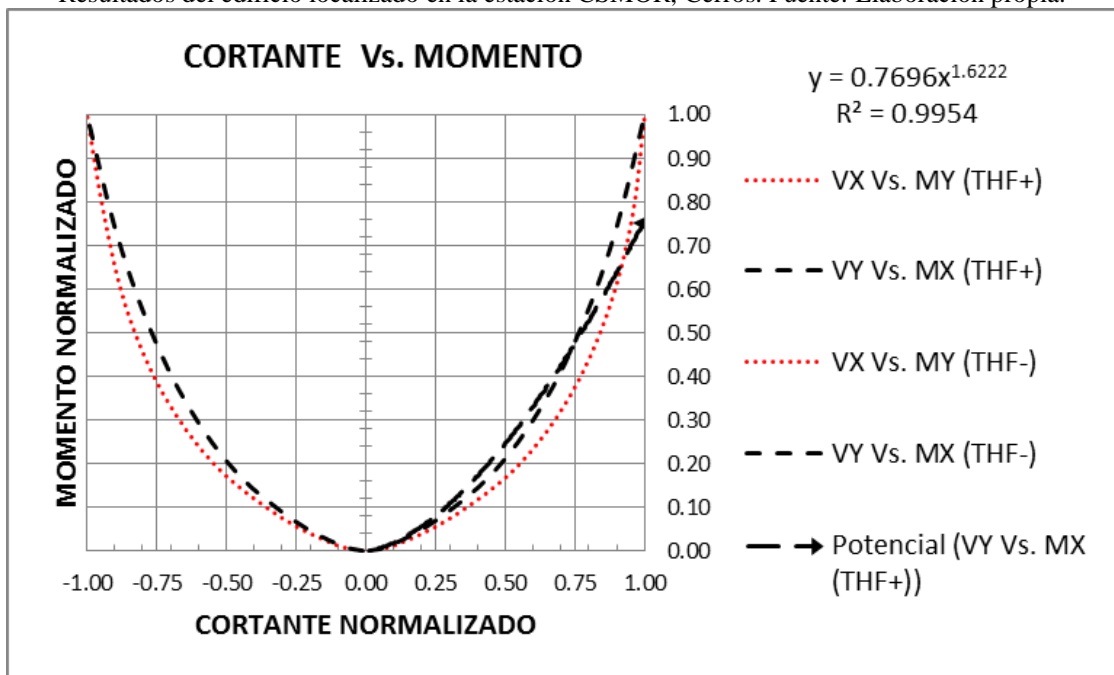
15) ESTACION "CSMOR", CERROS, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CSMOR, Cerros. Fuente: Elaboración propia.

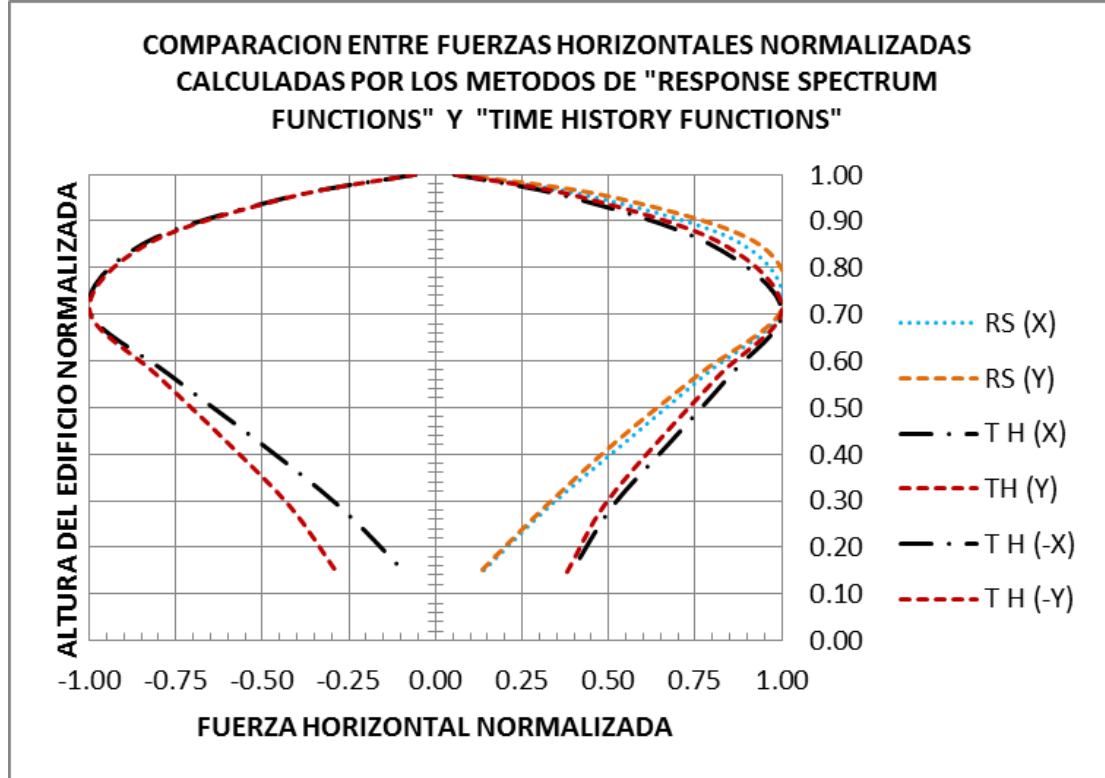


Resultados del edificio localizado en la estación CSMOR, Cerros. Fuente: Elaboración propia.

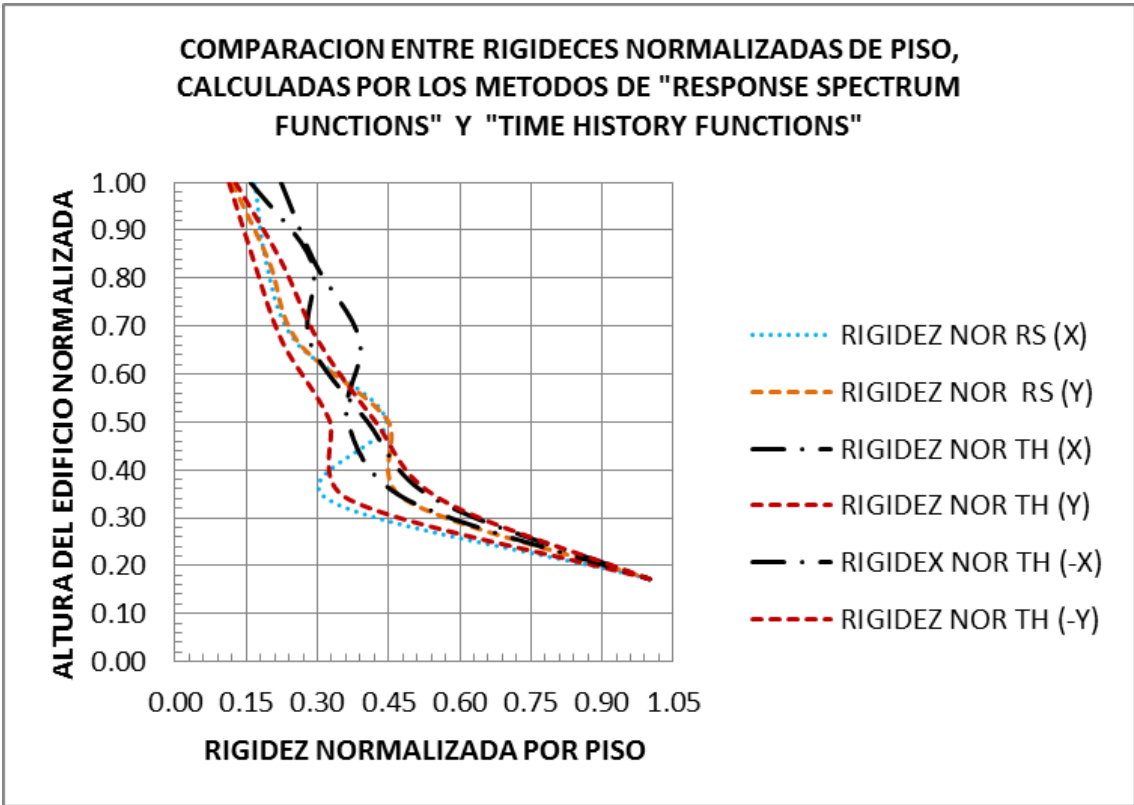


Resultados del edificio localizado en la estación CSMOR, Cerros. Fuente: Elaboración propia.

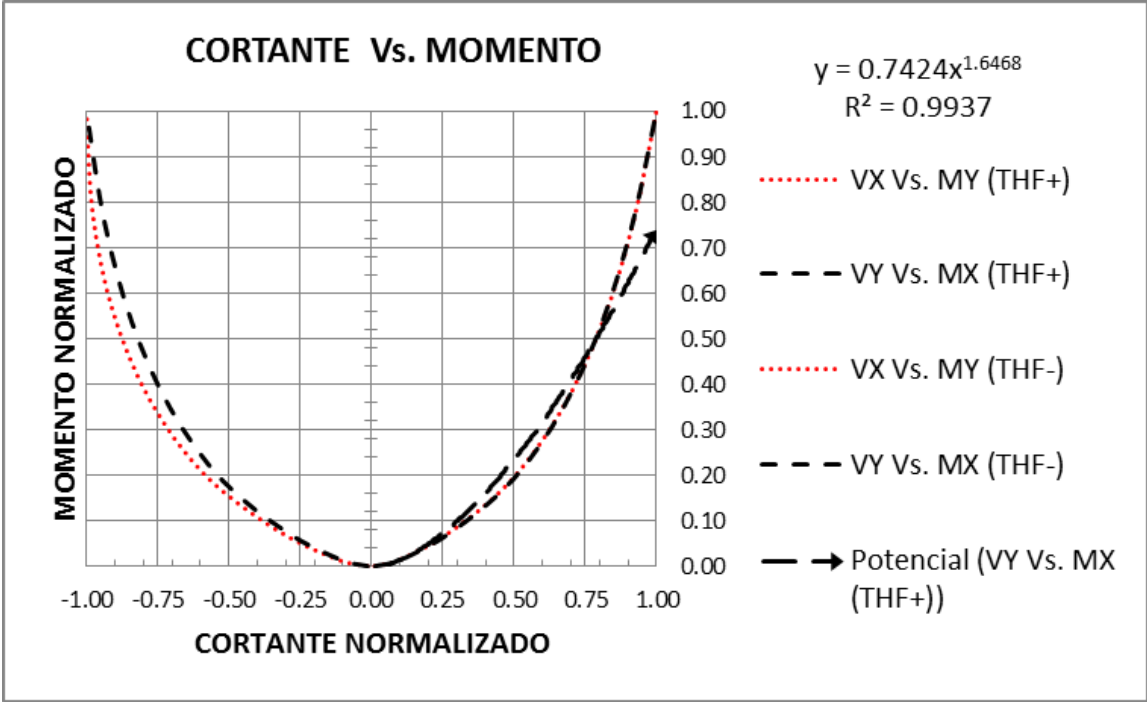
16) ESTACION "CTEJE", ALUVIAL 200, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CTEJE, Aluvial 200. Fuente: Elaboración propia.

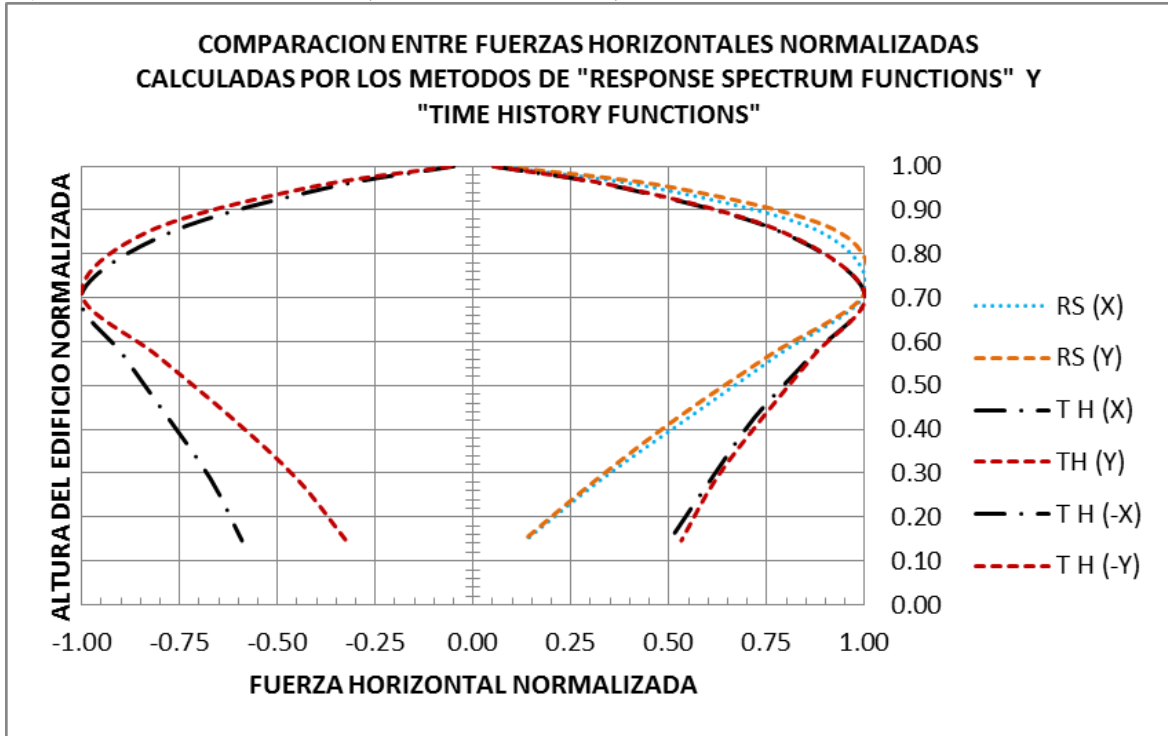


Resultados del edificio localizado en la estación CTEJE, Aluvial 200. Fuente: Elaboración propia.

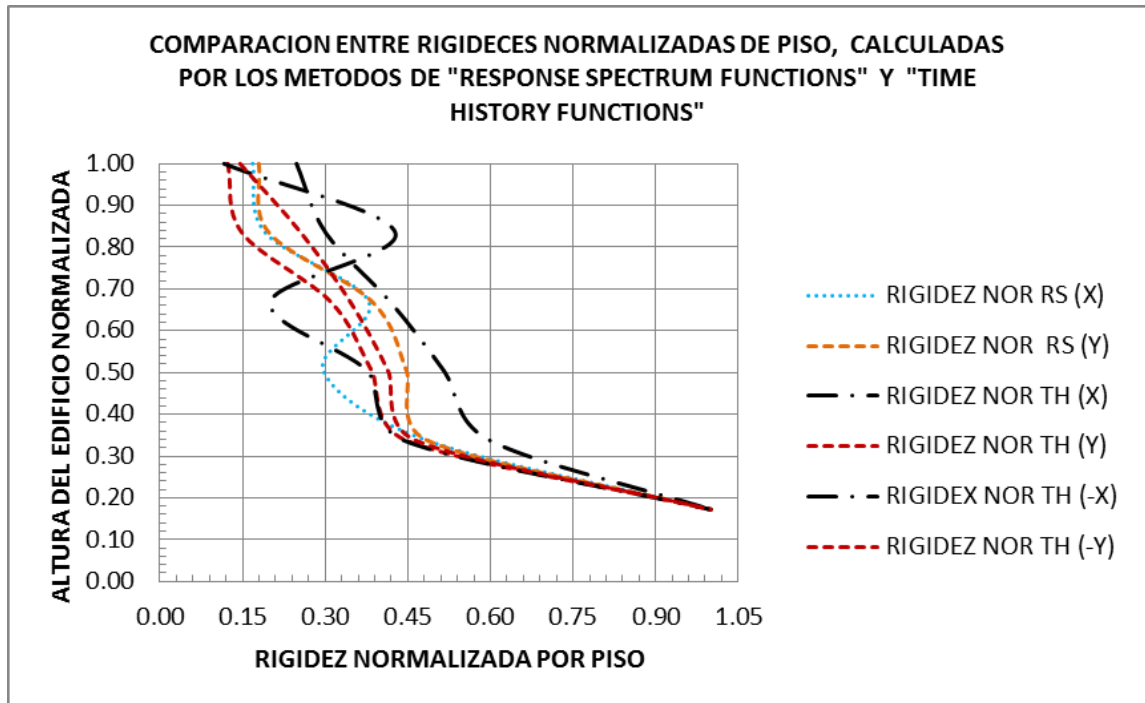


Resultados del edificio localizado en la estación CTEJE, Aluvial 200. Fuente: Elaboración propia.

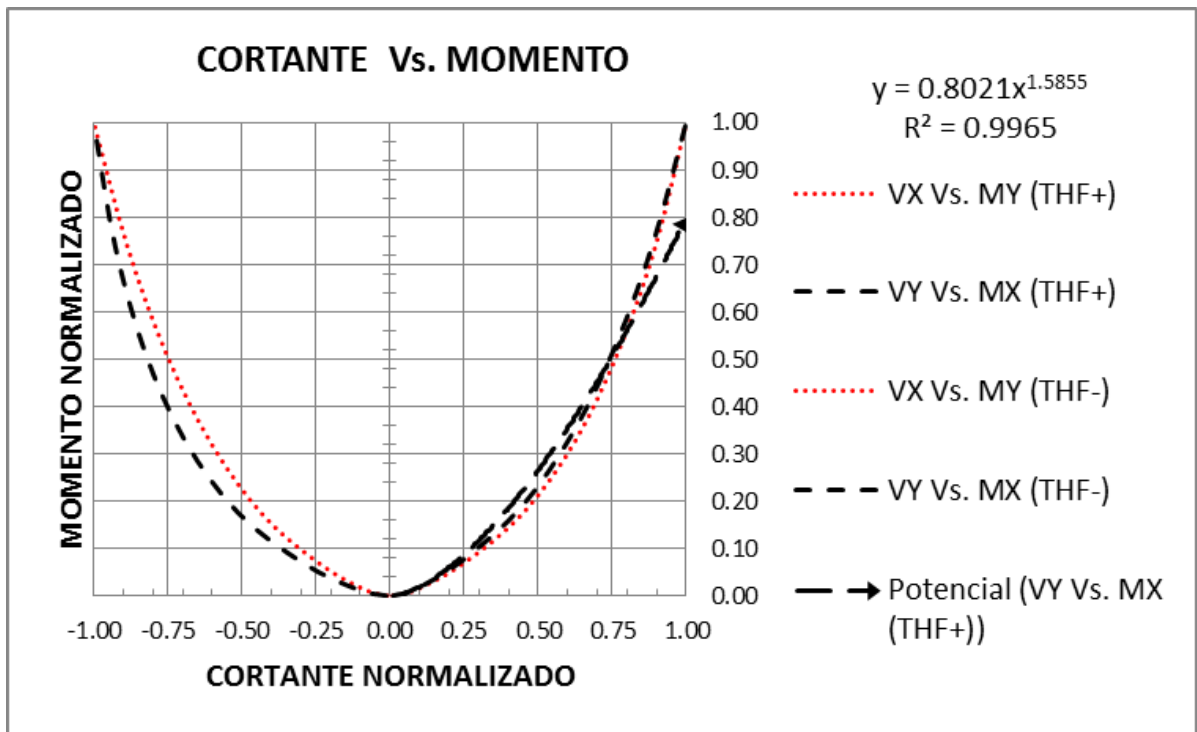
17) ESTACION "CTIEM", LACUSTRE 500, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CTIEM, Lacustre 500. Fuente: Elaboración propia.

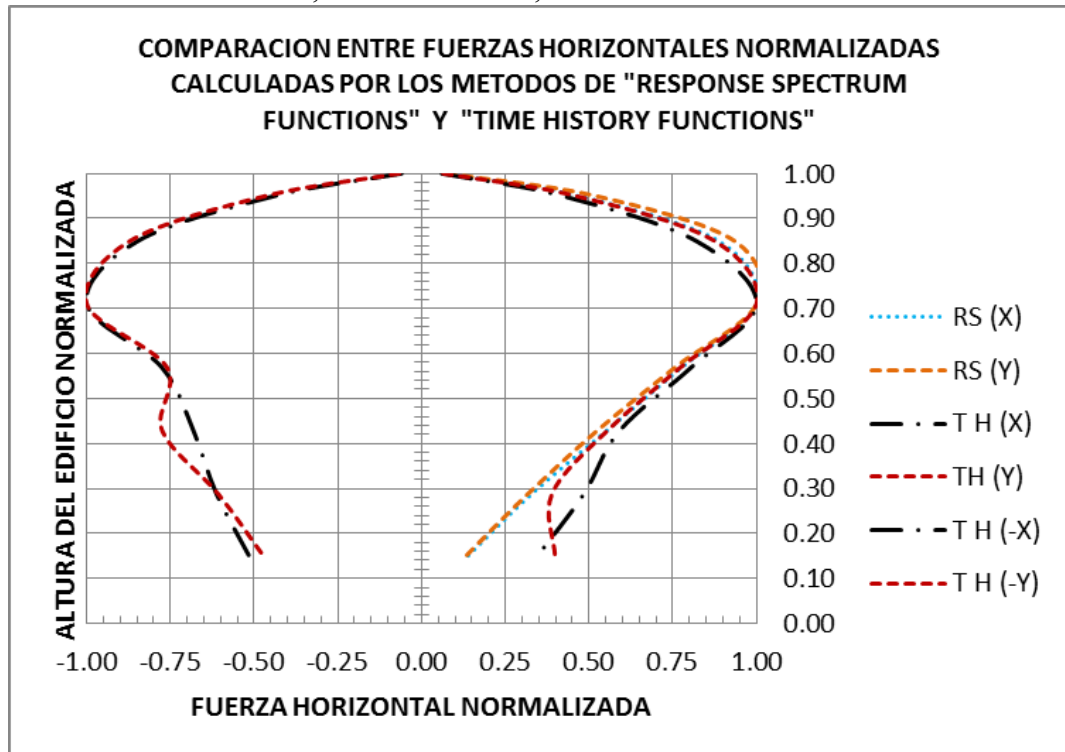


Resultados del edificio localizado en la estación CTIEM, Lacustre 500. Fuente: Elaboración propia.

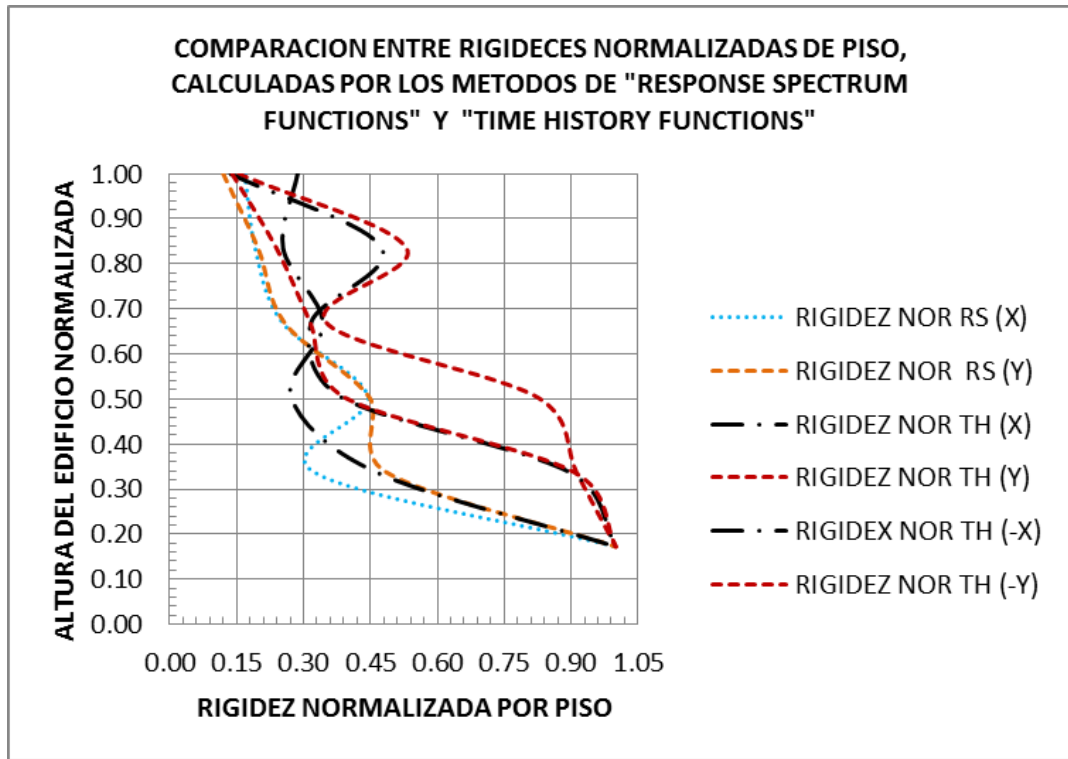


Resultados del edificio localizado en la estación CTIEM, Lacustre 500. Fuente: Elaboración propia.

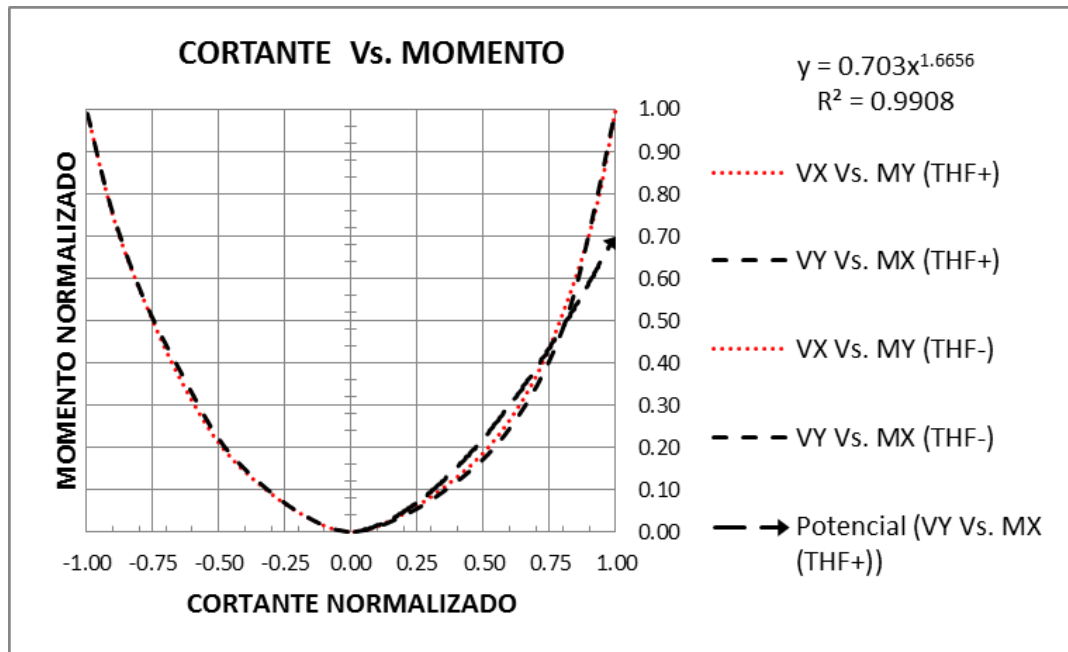
18) ESTACION "CTIMI", ALUVIAL 200, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CTIMI, Aluvial 200. Fuente: Elaboración propia.

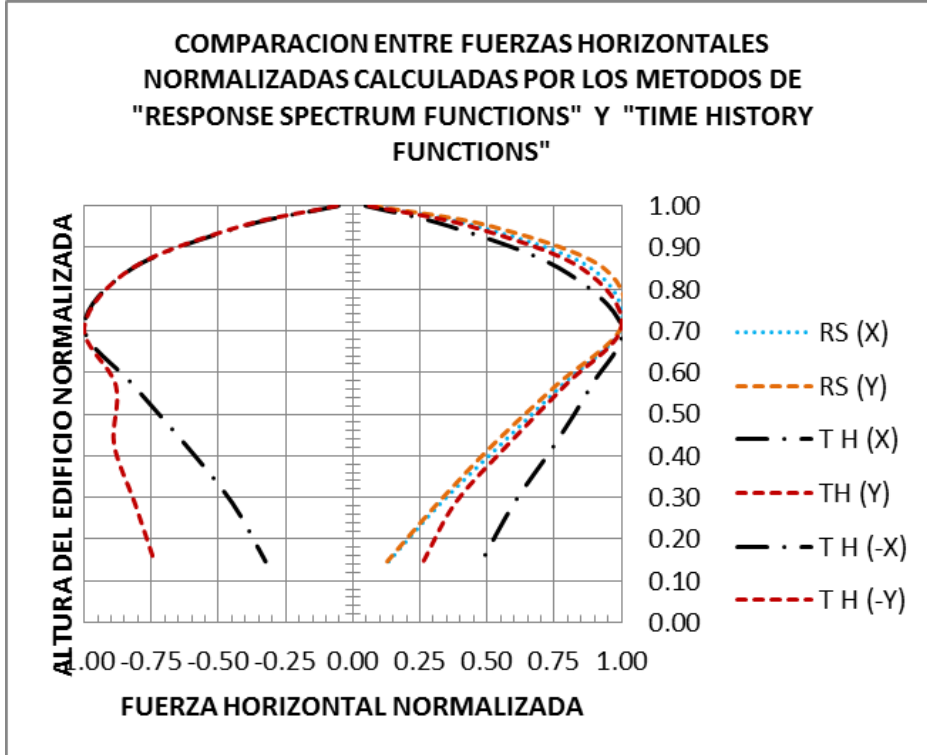


Resultados del edificio localizado en la estación CTIMI, Aluvial 200. Fuente: Elaboración propia.

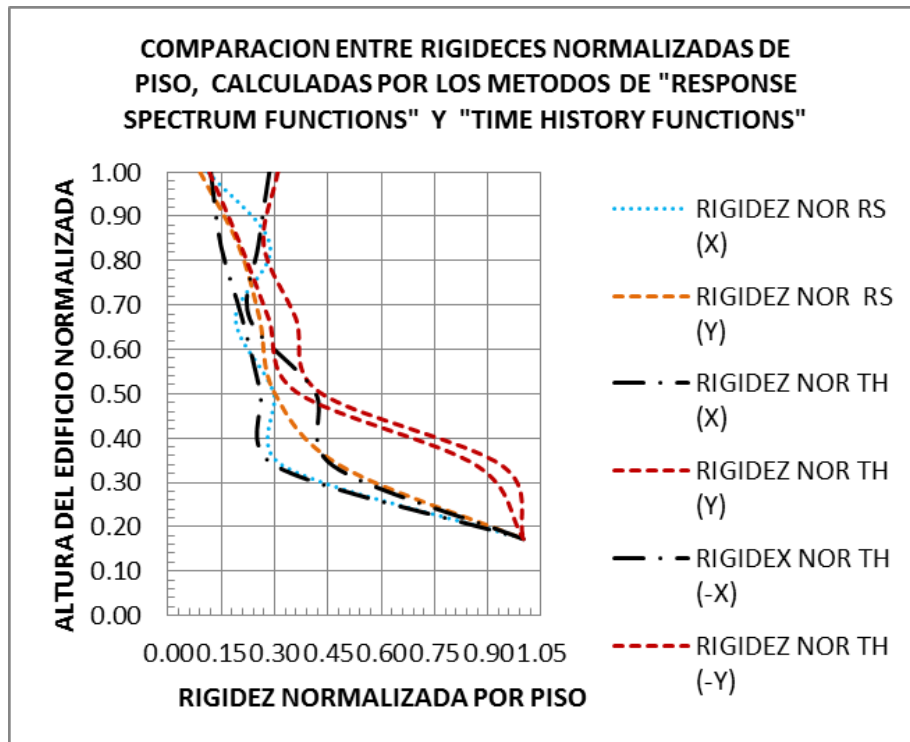


Resultados del edificio localizado en la estación CTIMI, Aluvial 200. Fuente: Elaboración propia.

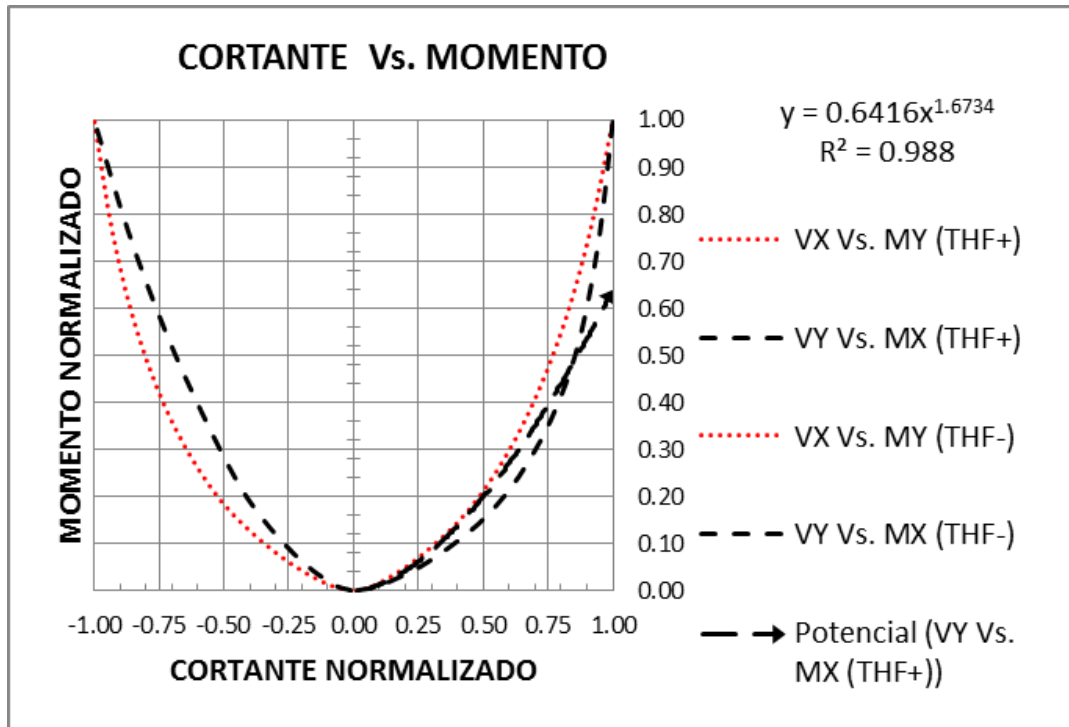
19) ESTACION "CTUNAL", ALUVIAL 100, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CTUNAL, Aluvial 100. Fuente: Elaboración propia.

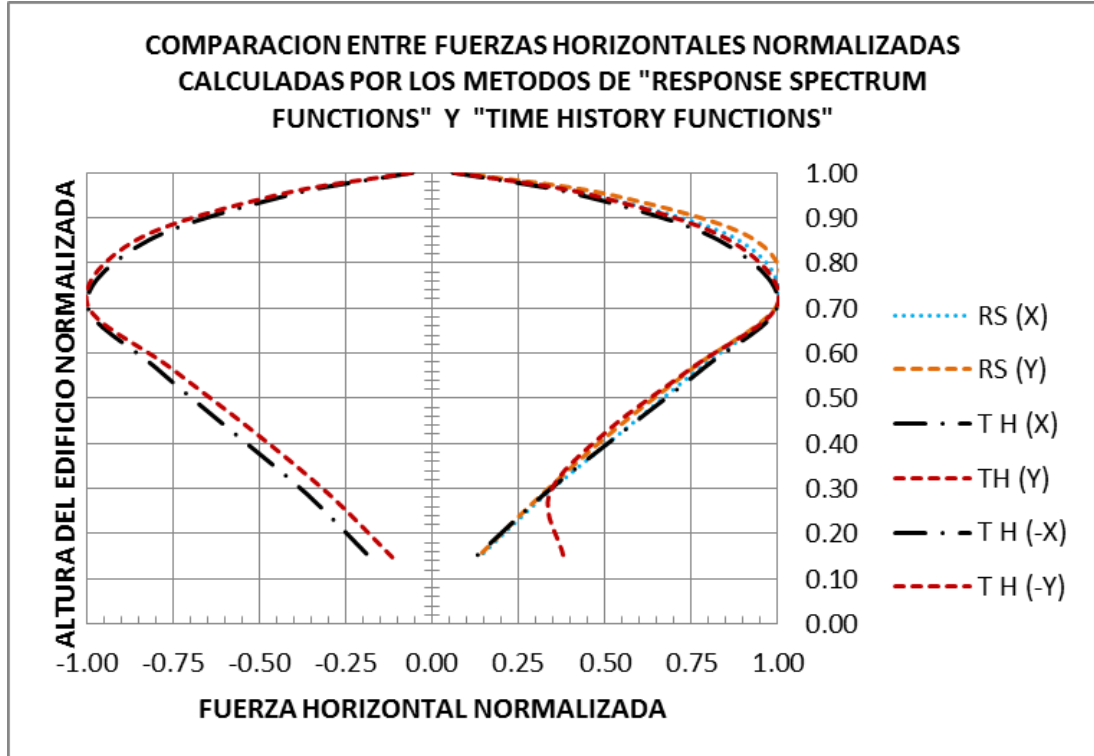


Resultados del edificio localizado en la estación CTUNAL, Aluvial 100. Fuente: Elaboración propia.

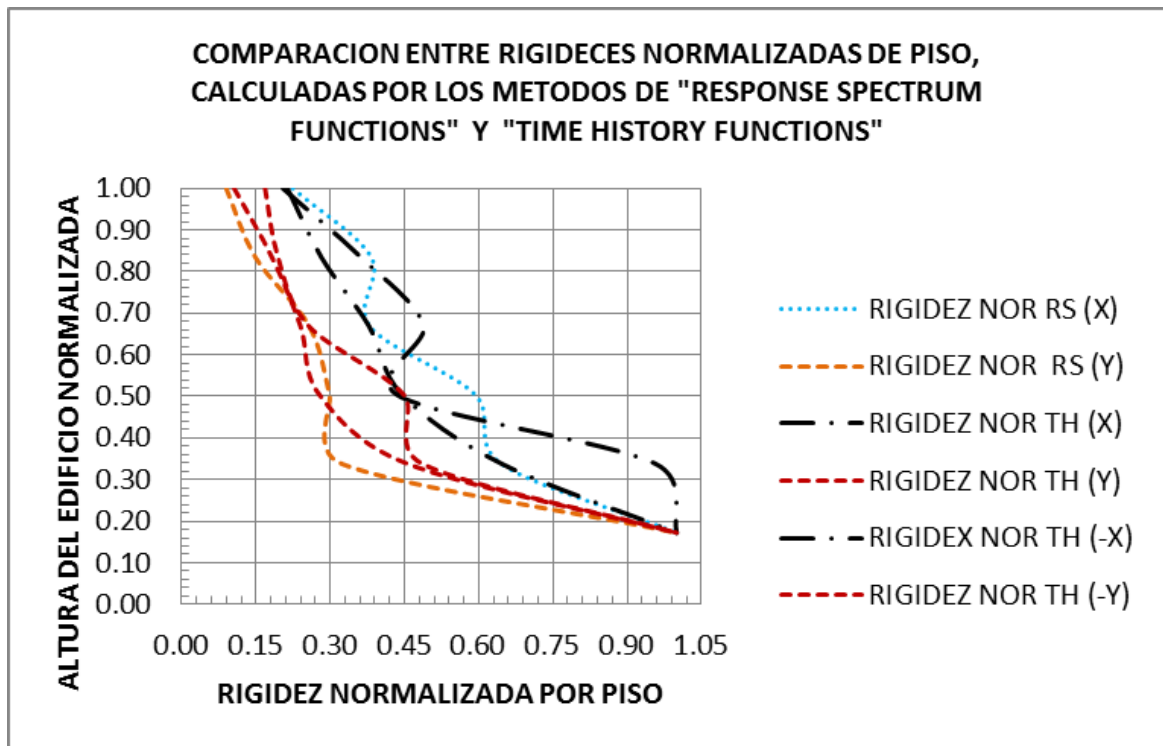


Resultados del edificio localizado en la estación CTUNAL, Aluvial 100. Fuente: Elaboración propia.

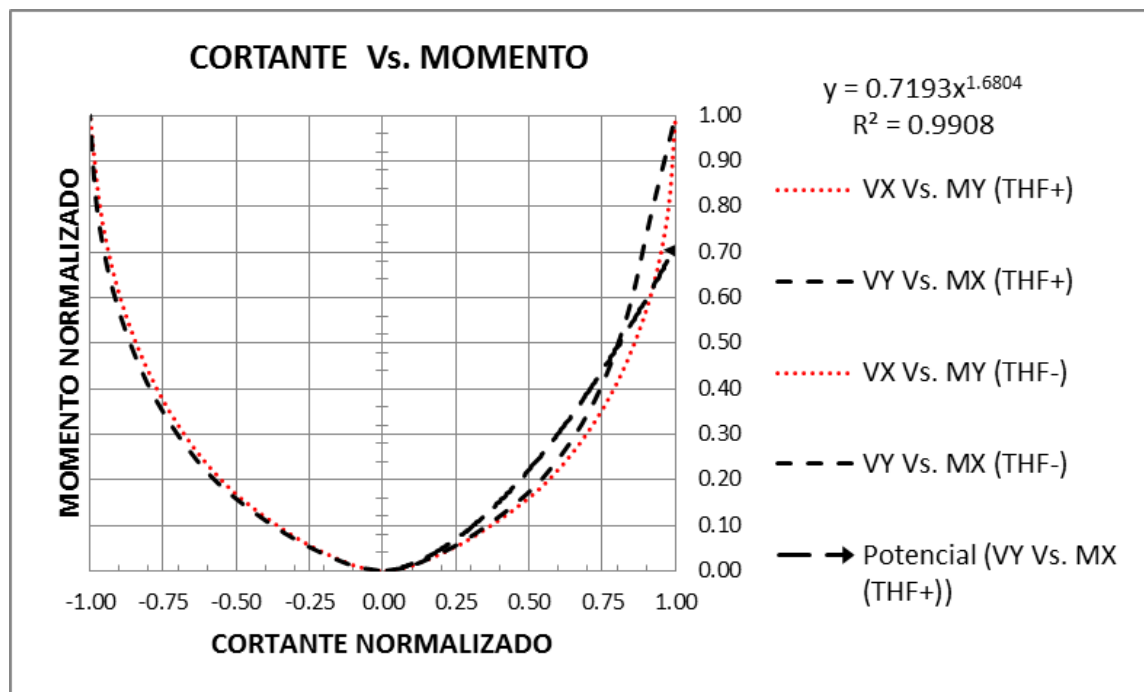
20) ESTACION "CTVCA", CERROS, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CTVCA, Cerros. Fuente: Elaboración propia.

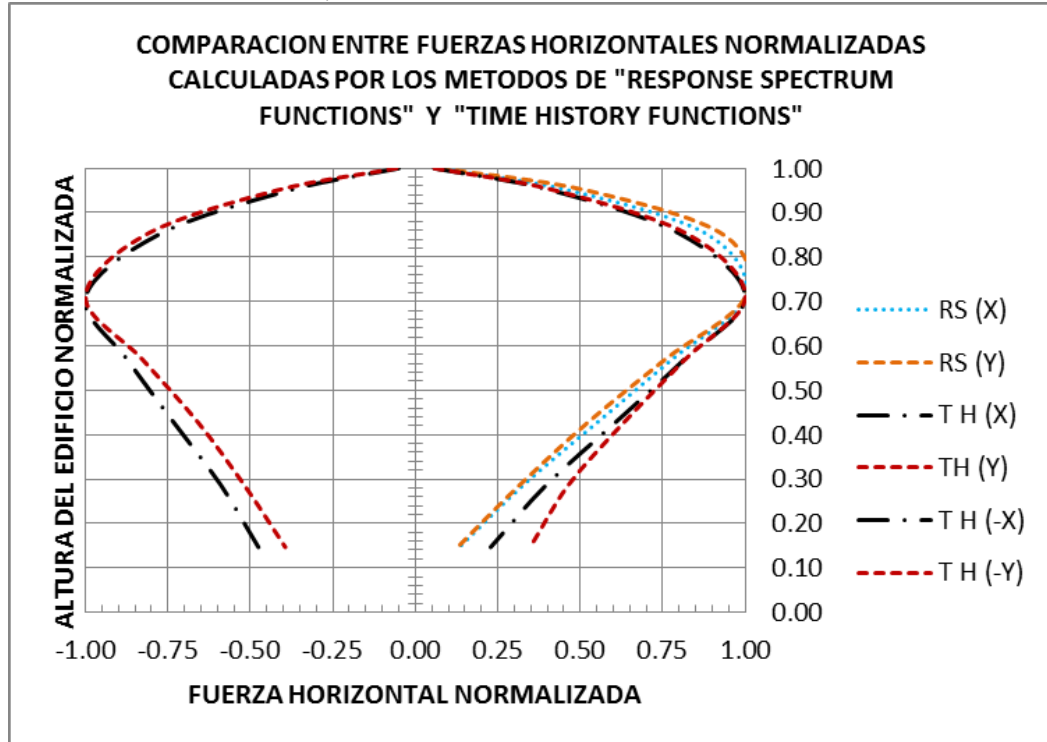


Resultados del edificio localizado en la estación CTVCA, Cerros. Fuente: Elaboración propia.

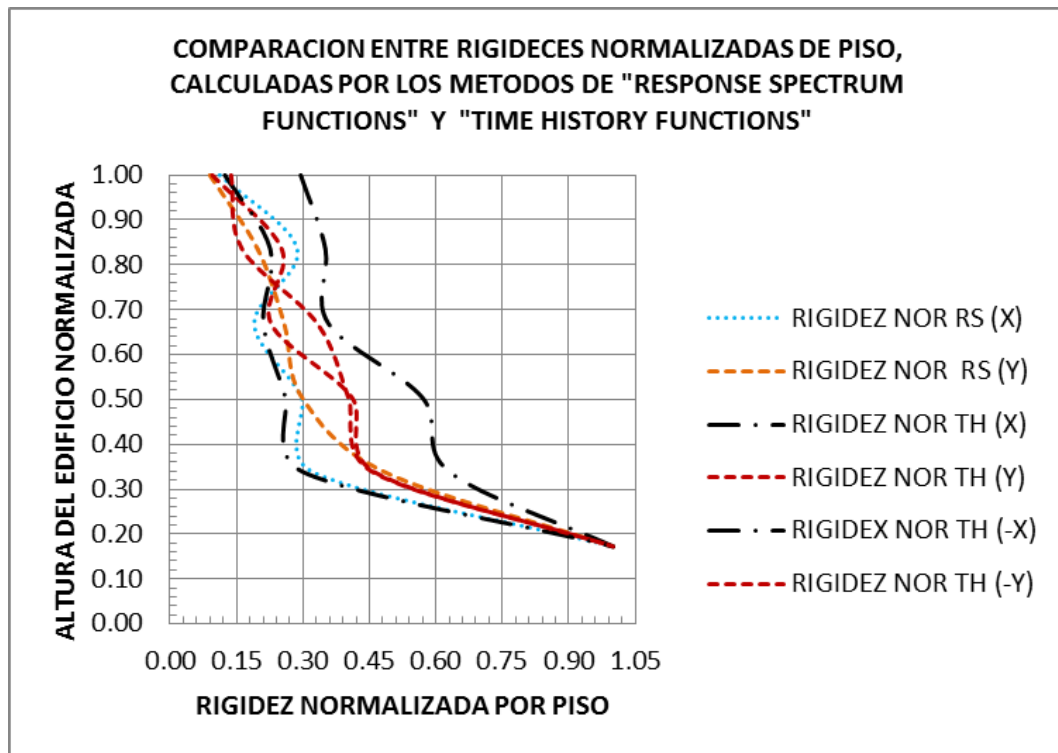


Resultados del edificio localizado en la estación CTVCA, Cerros. Fuente: Elaboración propia.

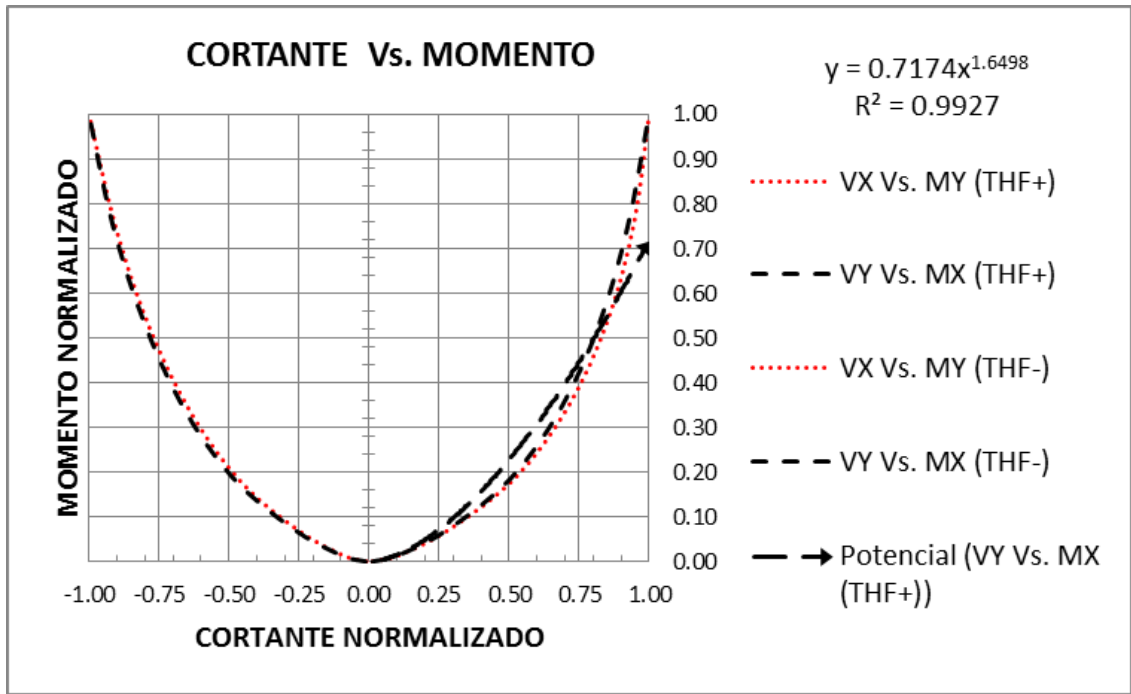
21) ESTACION "CUAGR", LACUSTRE 200, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CUAGR, Lacustre 200. Fuente: Elaboración propia.

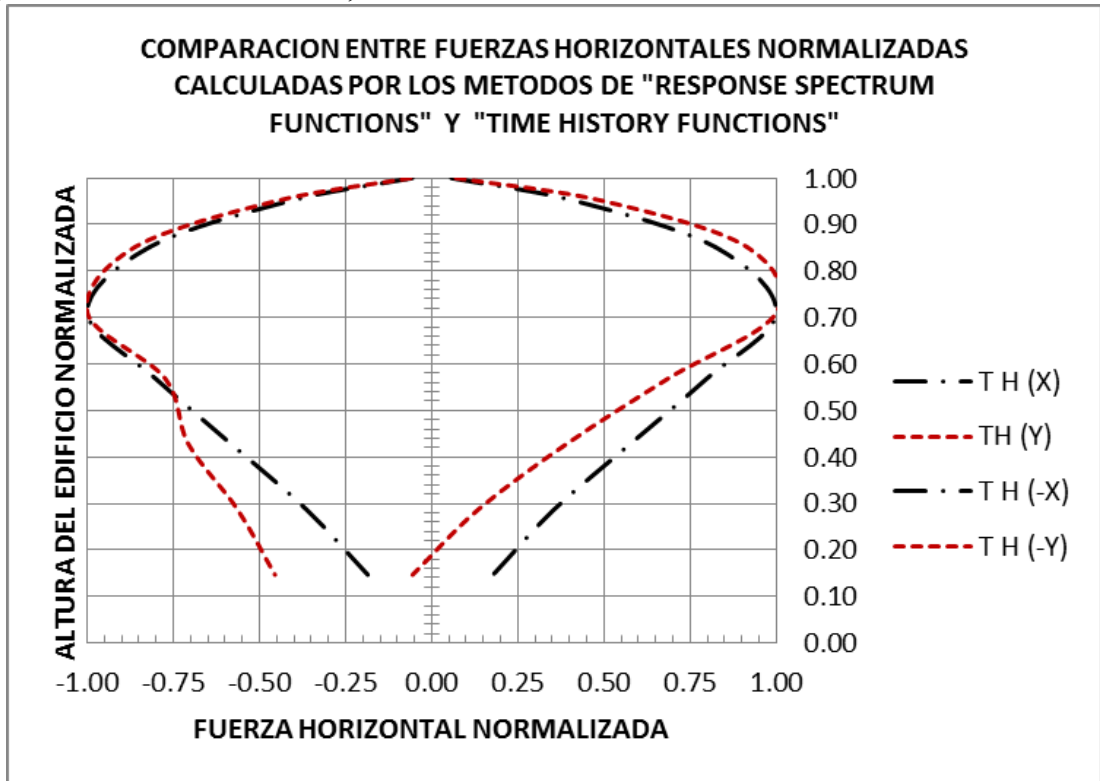


Resultados del edificio localizado en la estación CUAGR, Lacustre 200. Fuente: Elaboración propia.

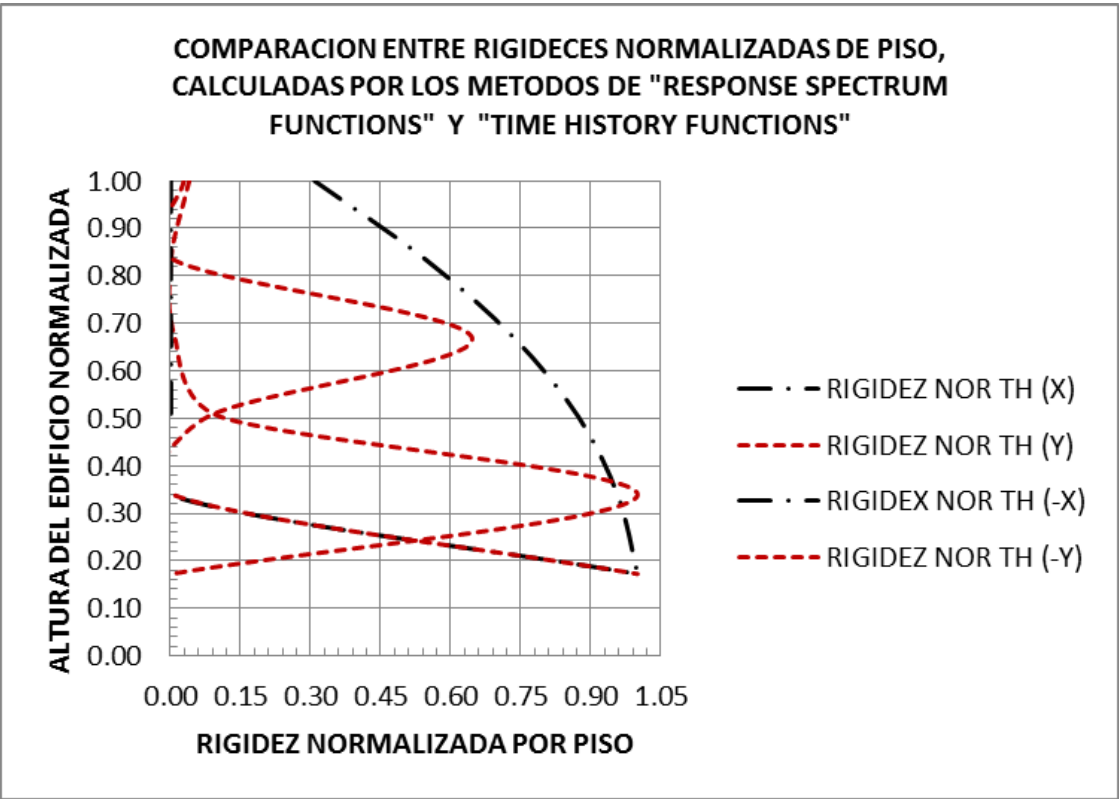


Resultados del edificio localizado en la estación CUAGR, Lacustre 200. Fuente: Elaboración propia.

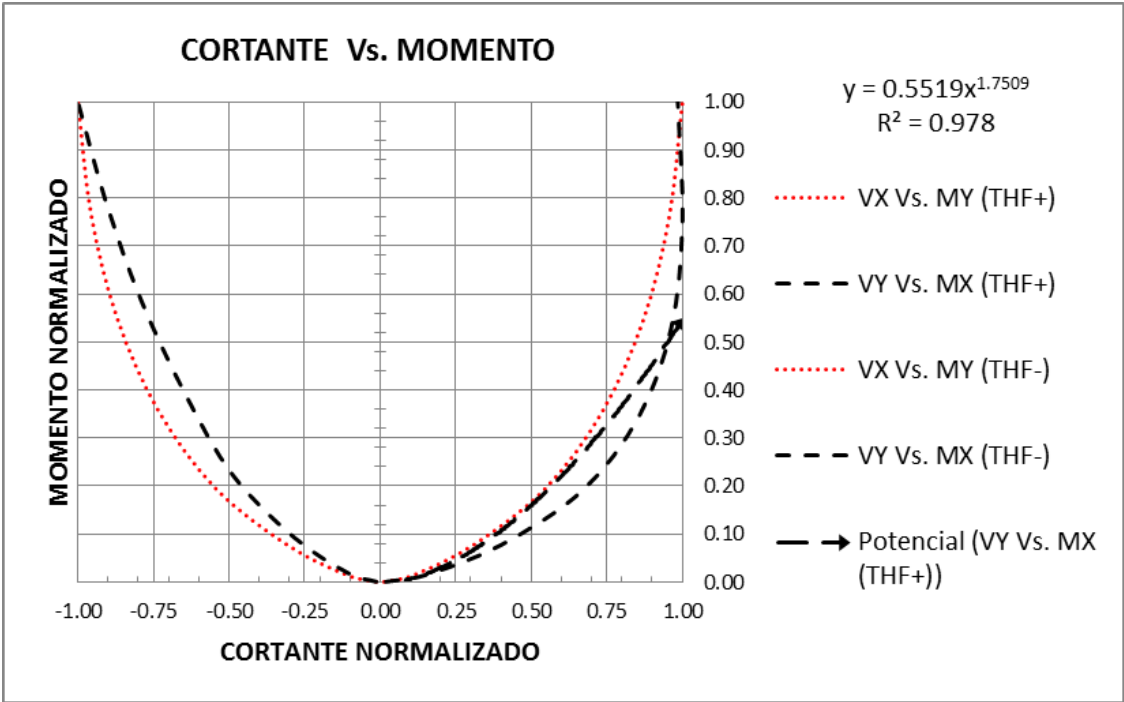
22) ESTACION “CUAGR”, ROCA.



Resultados del edificio localizado en la estación CUAGR, Roca. Fuente: Elaboración propia.

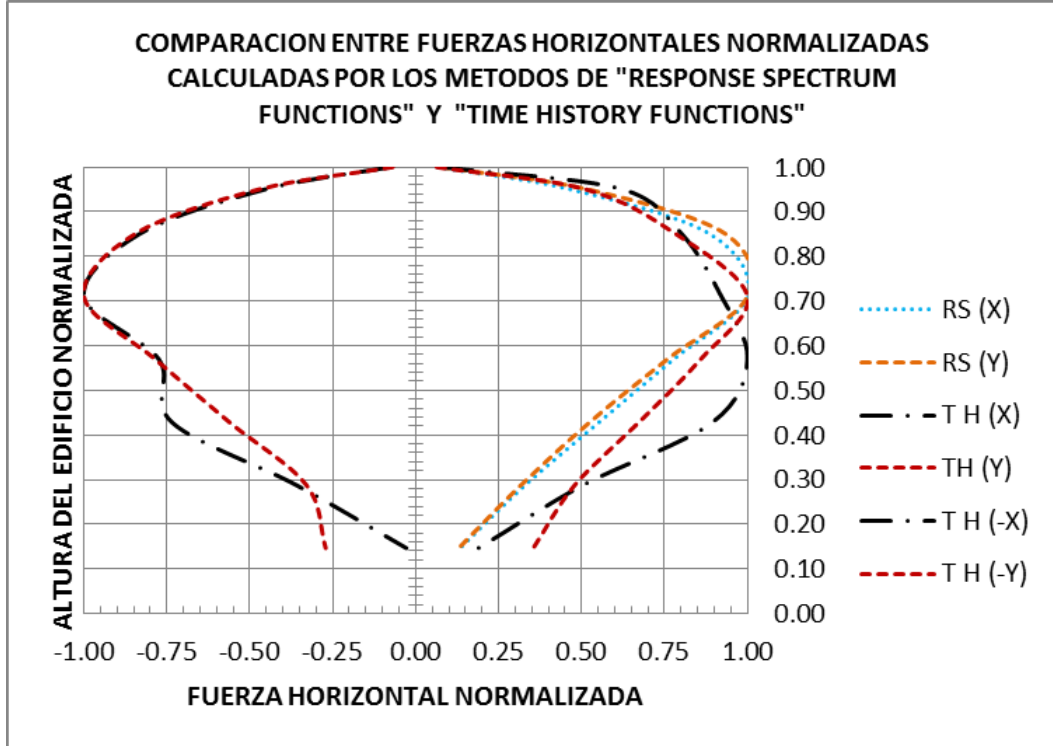


Resultados del edificio localizado en la estación CUAGR, Roca. Fuente: Elaboración propia.

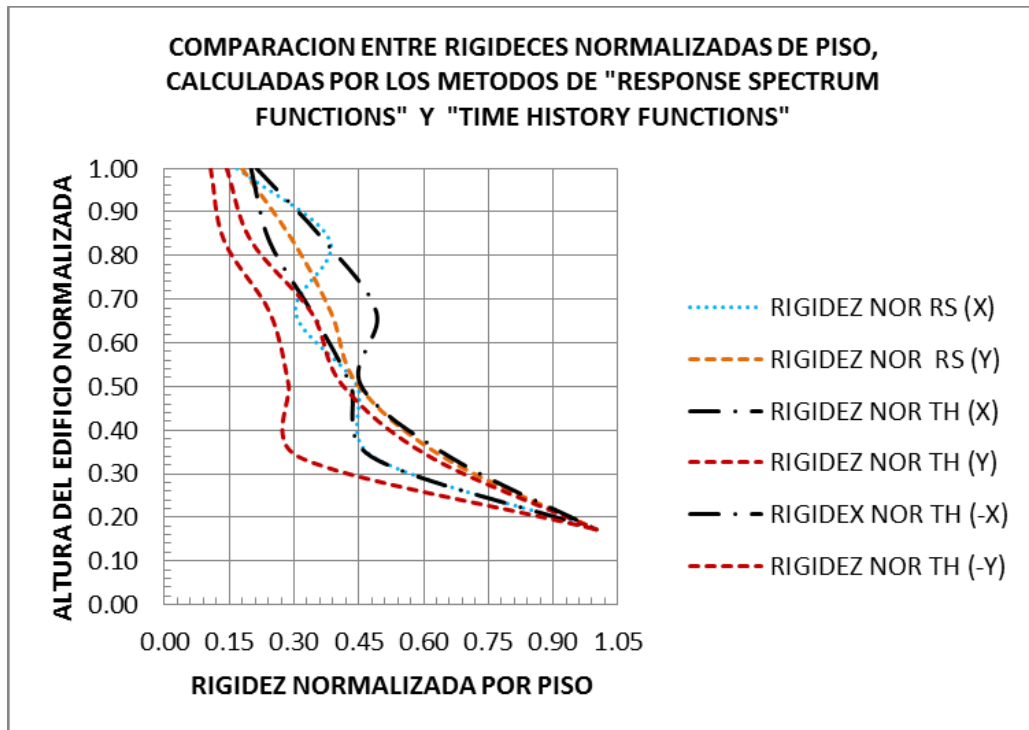


Resultados del edificio localizado en la estación CUAGR, Roca. Fuente: Elaboración propia.

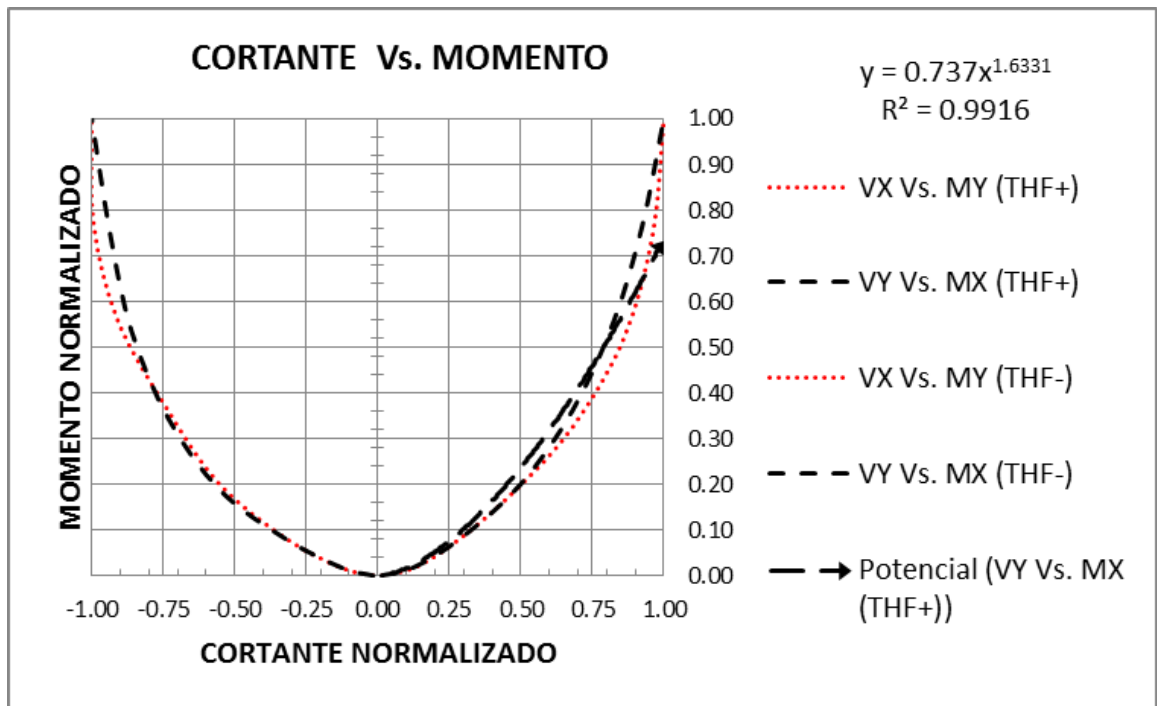
23) ESTACION "CUNMA", DEPOSITO LADERA, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CUNMA, Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

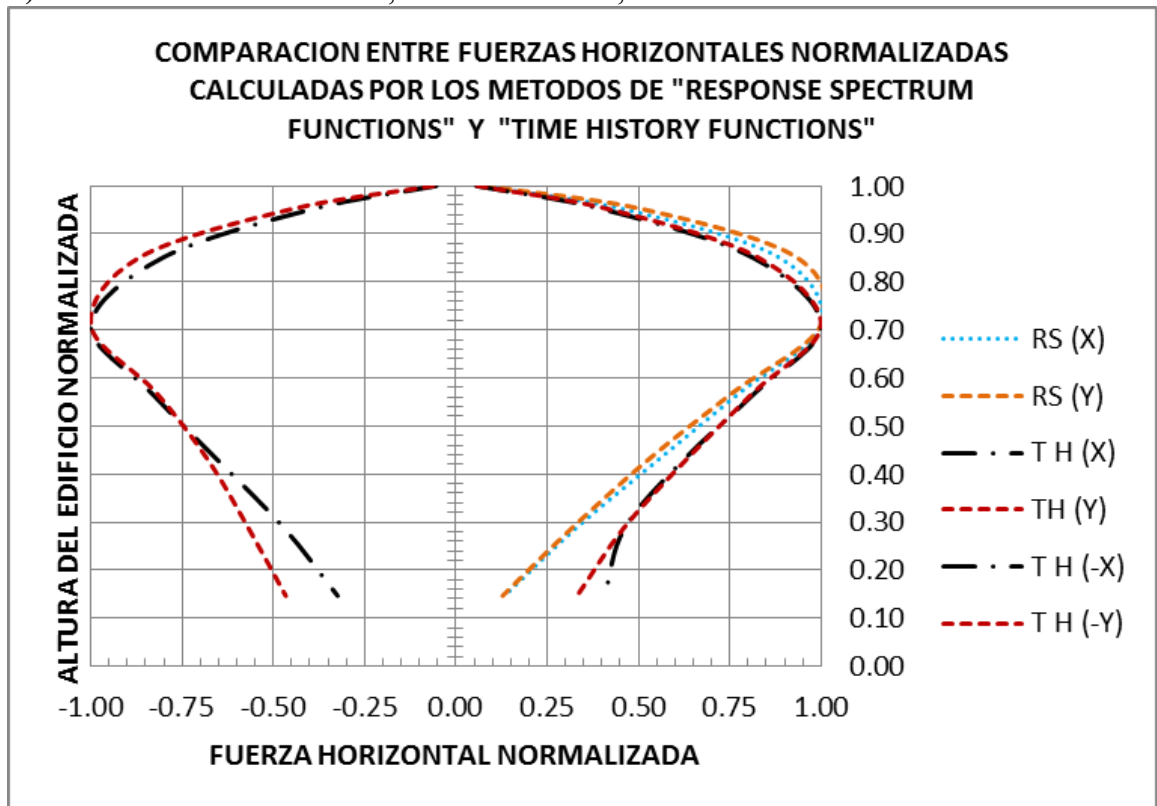


Resultados del edificio localizado en la estación CUNMA, Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

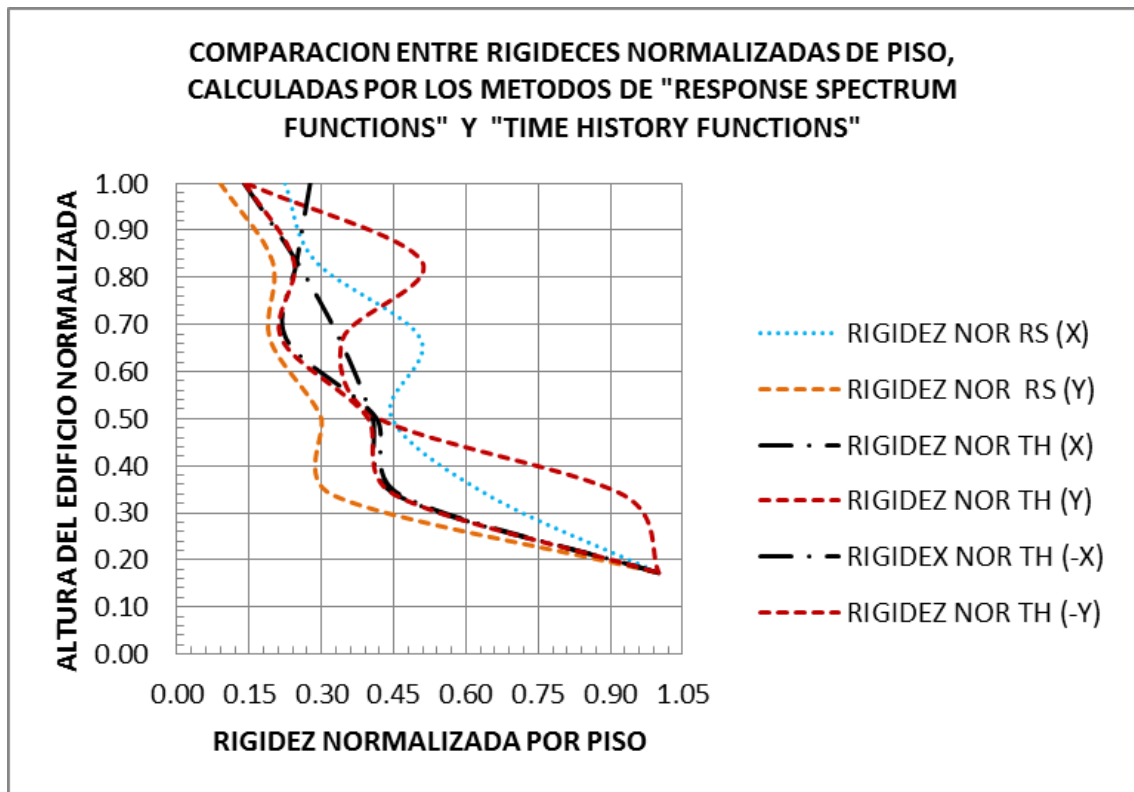


Resultados del edificio localizado en la estación CUNMA, Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

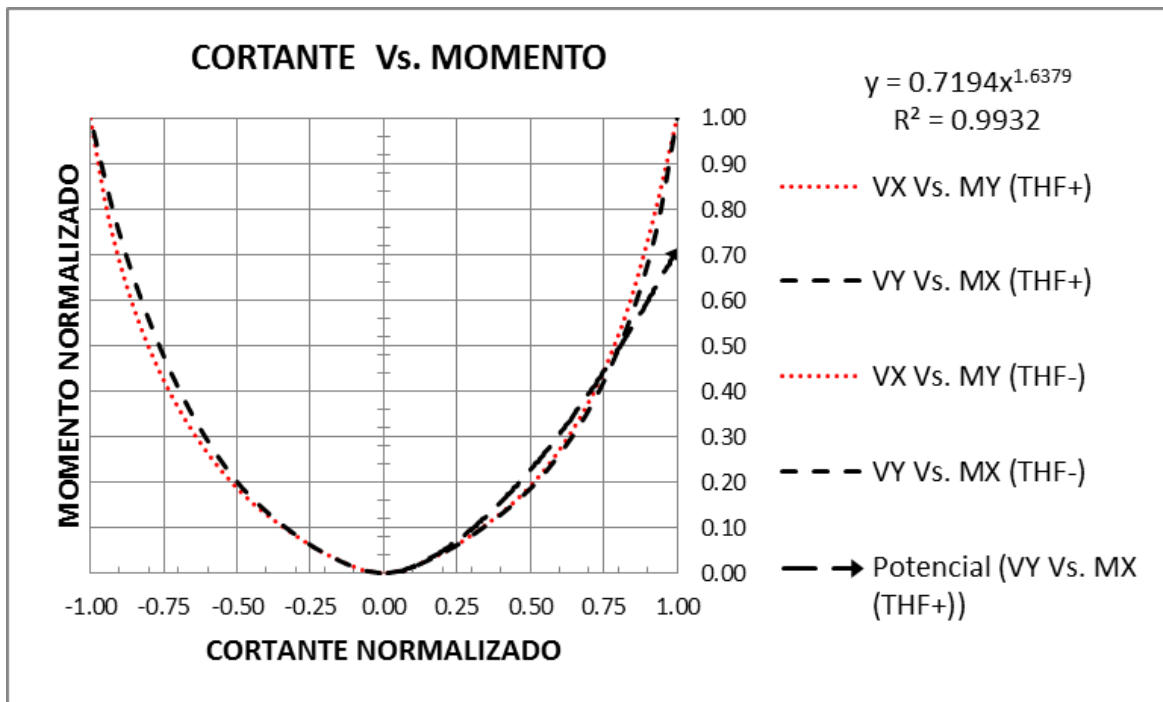
24) ESTACION "CUSALL", LACUSTRE 50, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CUSALL, Lacustre 50. Fuente: Elaboración propia.

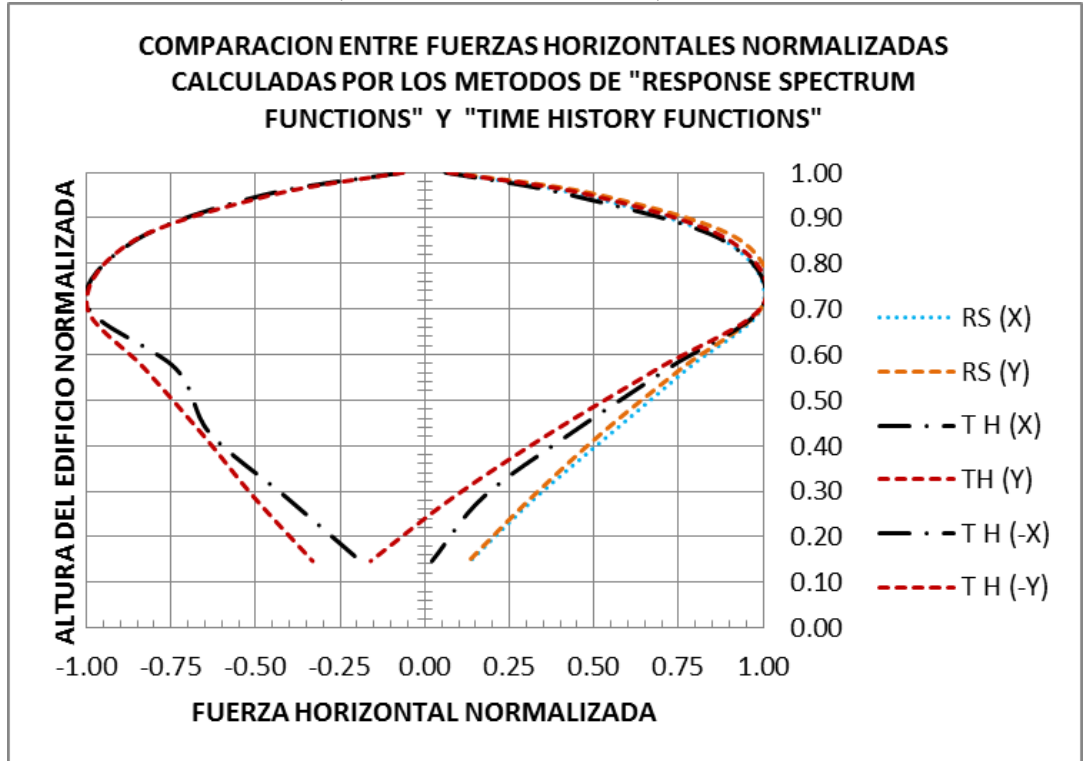


Resultados del edificio localizado en la estación CUSALL, Lacustre 50. Fuente: Elaboración propia.

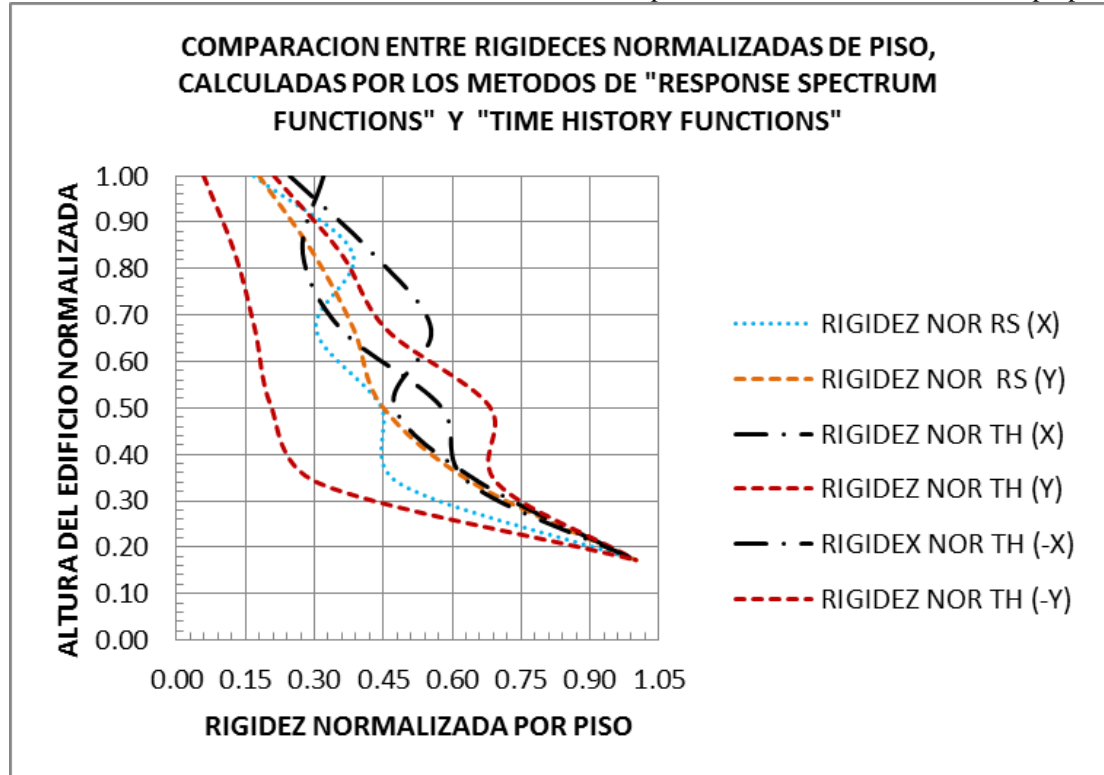


Resultados del edificio localizado en la estación CUSALL, Lacustre 50. Fuente: Elaboración propia.

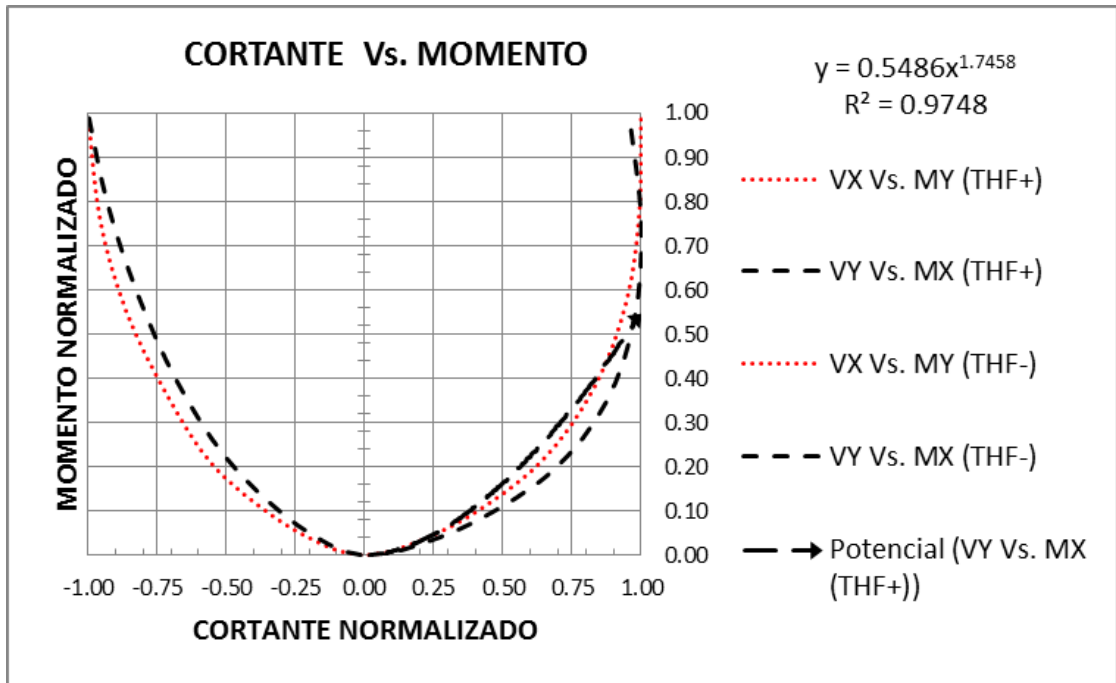
25) ESTACION "CVITE", DEPOSITO LADERA, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CVITE, Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

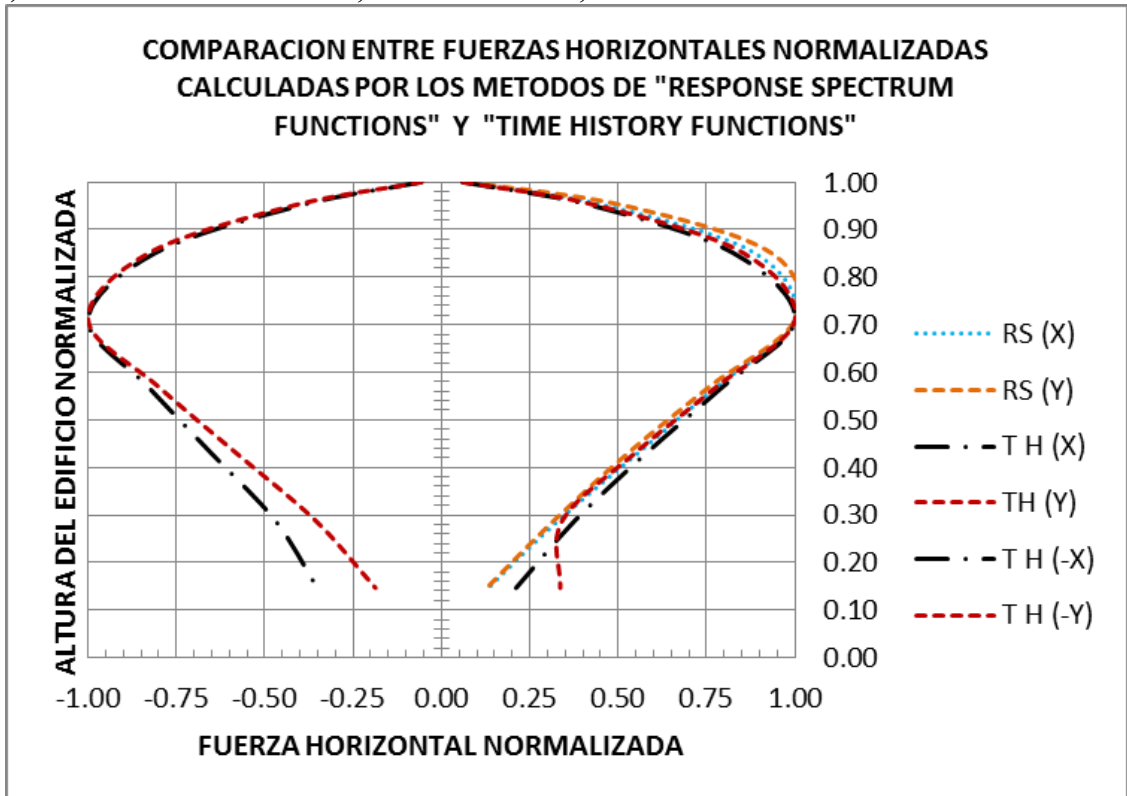


Resultados del edificio localizado en la estación CVITE, Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

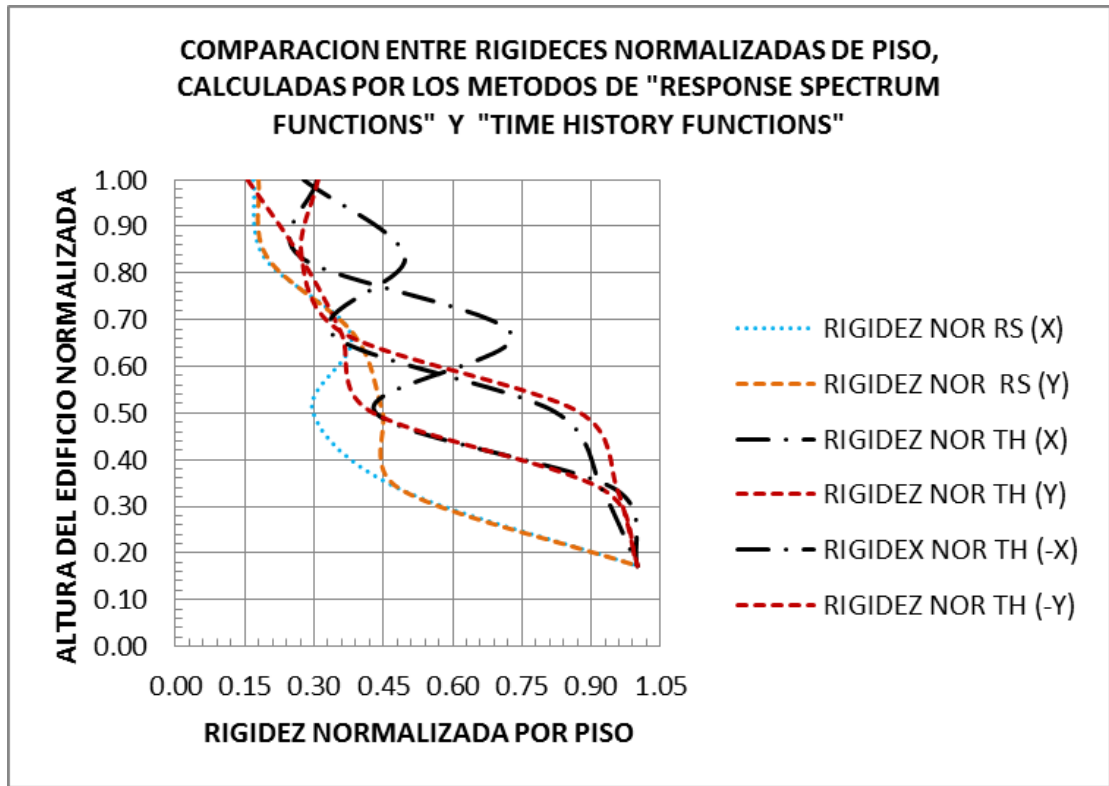


Resultados del edificio localizado en la estación CVITE, Deposito Ladera. Fuente: Elaboración propia.

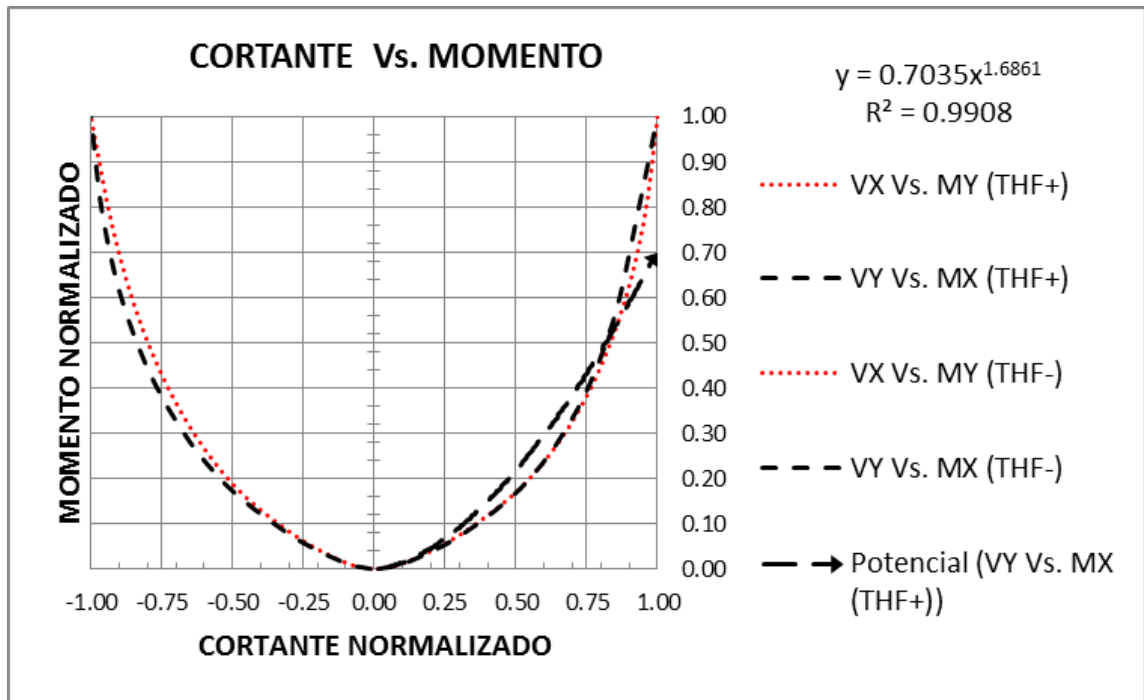
26) ESTACION "CCKEN", ALUVIAL 300, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CCKEN, Aluvial 300. Fuente: Elaboración propia.

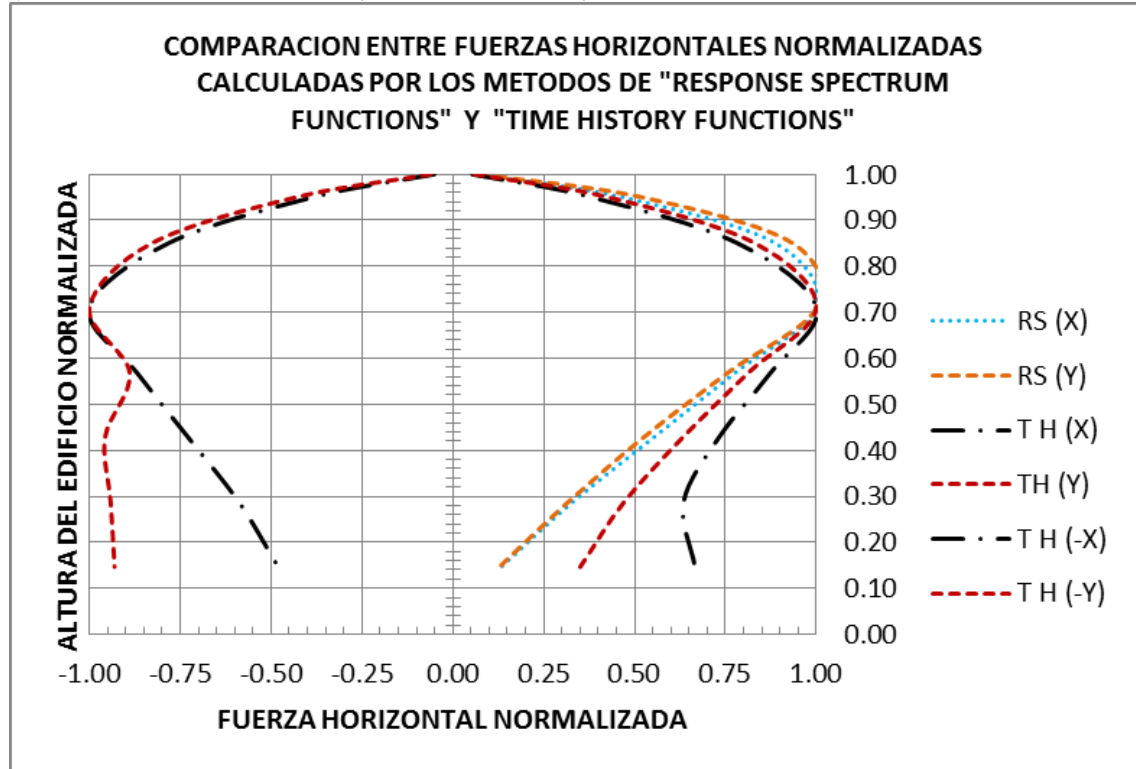


Resultados del edificio localizado en la estación CCKEN, Aluvial 300. Fuente: Elaboración propia.

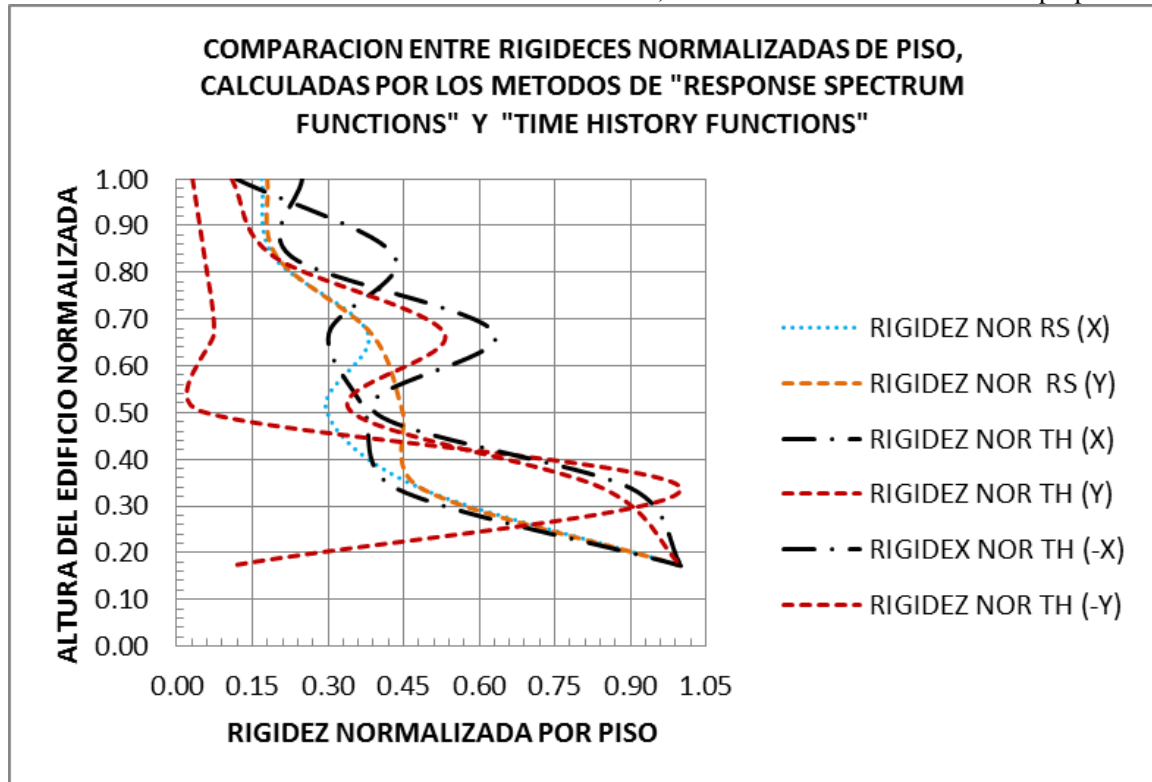


Resultados del edificio localizado en la estación CCKEN, Aluvial 300. Fuente: Elaboración propia.

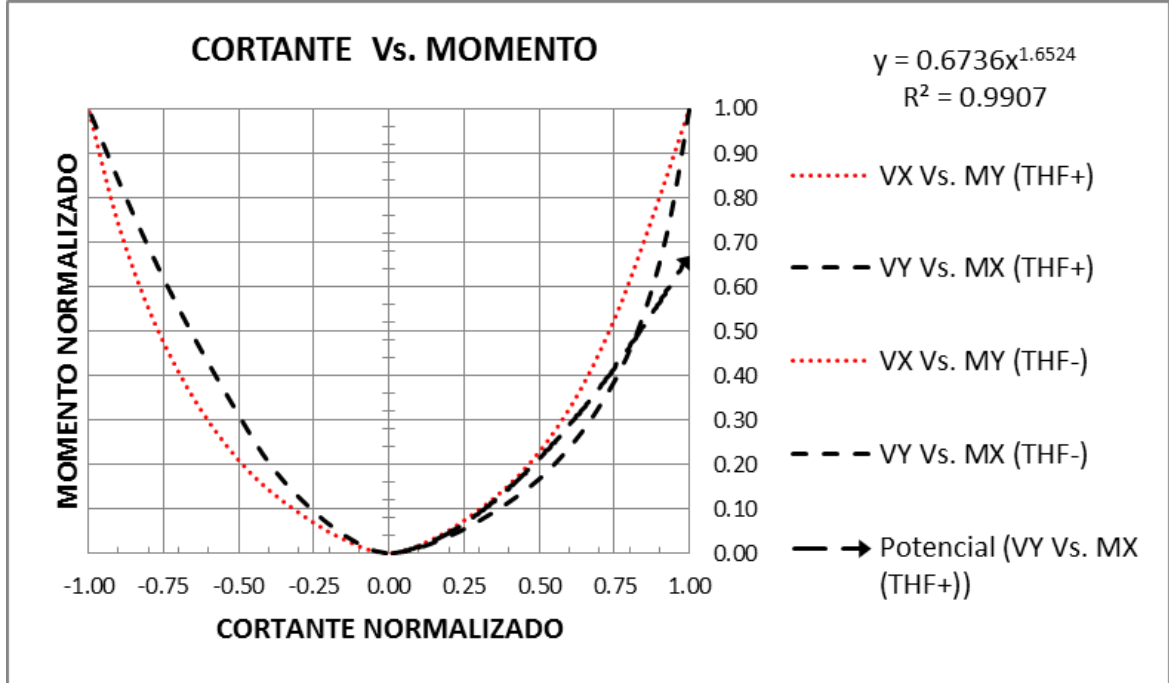
27) ESTACION "CFONT", ALUVIAL 300, MZSB-NSR-10.



Resultados del edificio localizado en la estación CFONT, Aluvial 300. Fuente: Elaboración propia.



Resultados del edificio localizado en la estación CFONT, Aluvial 300. Fuente: Elaboración propia.



Resultados del edificio localizado en la estación CFONT, Aluvial 300. Fuente: Elaboración propia.

5.3 OBSERVACIONES A LOS GRAFICOS DE RESULTADOS DE FUERZAS Y RIGIDECES

En los gráficos que relacionan las fuerzas horizontales con la altura del edificio, es evidente la profunda diferencia entre el análisis realizado con el “response Spectrum”, denominado comúnmente análisis modal espectral, que no es dinámico, ya que las fuerzas no cambian en el tiempo y el análisis realizado con los registros de acelerogramas, denominado frecuentemente, “time history Functions”, donde las fuerzas varían con el tiempo. El registro de estas fuerzas permite establecer en que porcentaje de la altura del edificio, se originan las mayores fuerzas horizontales, para cada una de las zonas de microzonificación. De igual modo, también se nota cómo cambian al pasar de un lado al otro del eje vertical y como se refleja la diferencia de rigideces, por la simetría o asimetría de las figuras, que tienden a parecerse a una parábola.

Al inicio del movimiento telúrico se observa, en algunas de las gráficas que relaciona las fuerzas con la altura del edificio, una concavidad en las curvas, producto de la interrelación entre la rigidez del suelo y de la estructura, que viene acompañada de un aumento súbito en el valor de las fuerzas, hasta romper la resistencia que ofrece el edificio al movimiento del suelo. Para una futura investigación se pueden establecer valores de correlación entre la rigidez del suelo y la estructura del edificio y entre los módulos de cortante; además también se pueden hacer inferencias sobre los bucles registrados en las gráficas y la geología de la sabana.

En las gráficas, que relacionan la rigidez del edificio, con la altura del mismo, cuando está sometido a un sismo, se advierte como va cambiando la demanda de rigidez con la zona de microzonificación y como esta tiene que ver con el sentido más rígido del suelo, EO y otras veces NS, que obedecen a la conformación geología de la Sabana.

En las gráficas de cortante versus momento, se advierte la forma de casi una parábola, como ya se mencionó, y se presenta la curva de tendencia para hallar las pendientes de la misma. Como continuidad a este estudio, se pueden evaluar las demandas de curvatura, ante las fuerzas sísmicas, que se tienen con relación al tiempo y la formación de rotulas plásticas.

Para tener en cuenta la interrelación suelo estructura, se calcularon los espectros de aceleración, con diferentes grados de amortiguamiento crítico y para un periodo de retorno de 475 años, de velocidades y desplazamientos, mediante el procesamiento de la información de salida de los modelos, valorados con el programa ETABS y se compararon con los requerimientos del Decreto 523 de 2010. Estos análisis se presentan en el capítulo 6.

CAPITULO 6. ANALISIS DE LAS SEÑALES DE LLEGADA Y SALIDA Y SU RELACION CON LAS ESTRUCTURAS, (EL MEDIO), DE LOS EDIFICIOS QUE SE CALCULARON PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES DE LA RAB Y SU CORRELACION CON LAS ZONAS DE MICROZONIFICACION SISMICA DE BOGOTA

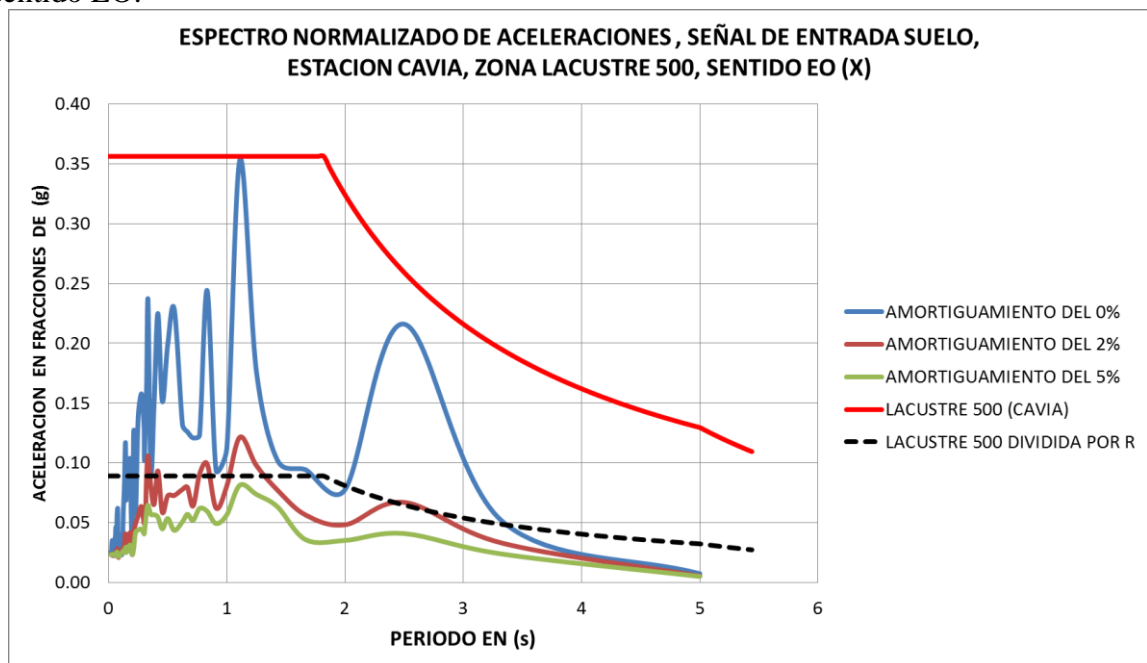
6.1 ESPECTROS EN SUELO BLANDO DE LA SABANA DE BOGOTA

En el presente capitulo se comparan los espectros calculados para las diferentes estaciones de la RAB y referenciados como ya se dijo anteriormente, a la microzonificación sísmica de Bogotá, Decreto 523 de 2010. (Las líneas se suavizaron para mejorar la presentación).

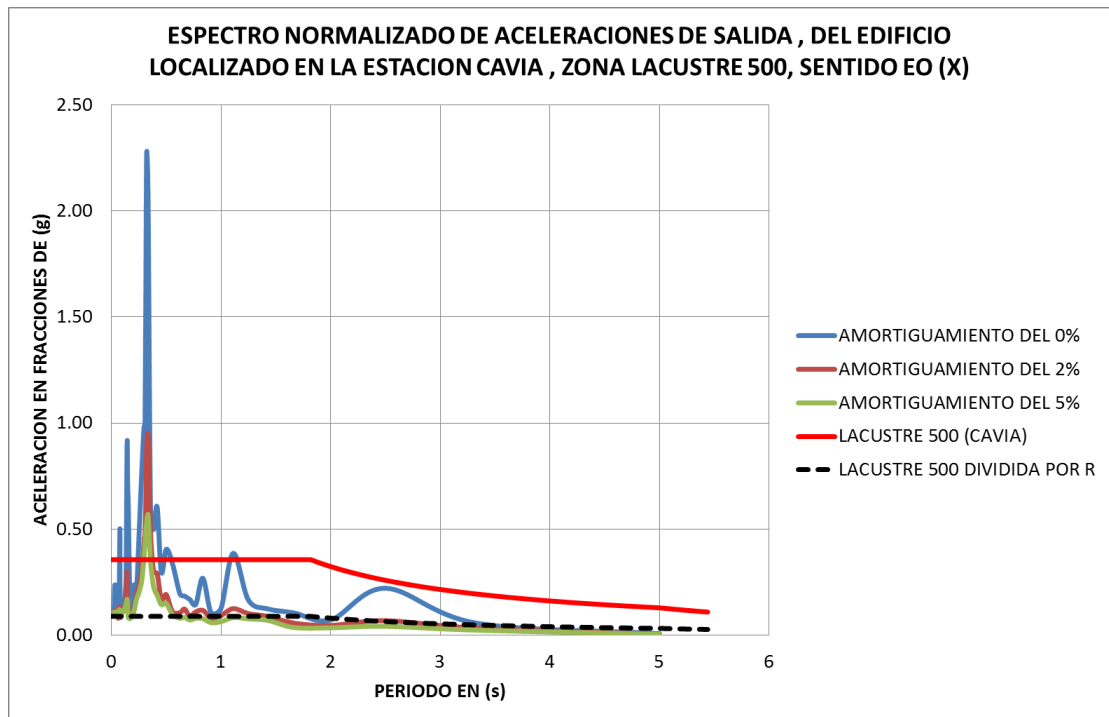
- 1) **Estación Avianca:** El código en la RAB es **CAVIA**, ubicada en la Av. El Dorado No. 92 – 30. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **LACUSTRE 500** de la **MZSB**. Para cada estación se hallaron los espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento y se comparan con la norma vigente, para los sentidos EO (Este –Oeste) y NS (Norte-Sur).

ESTACION AVIANCA, LACUSTRE 500, SENTIDO EO (X):

- Espectros de aceleración, entrada suelo y salida edificio, estación CAVIA y la NSR-10, sentido EO:

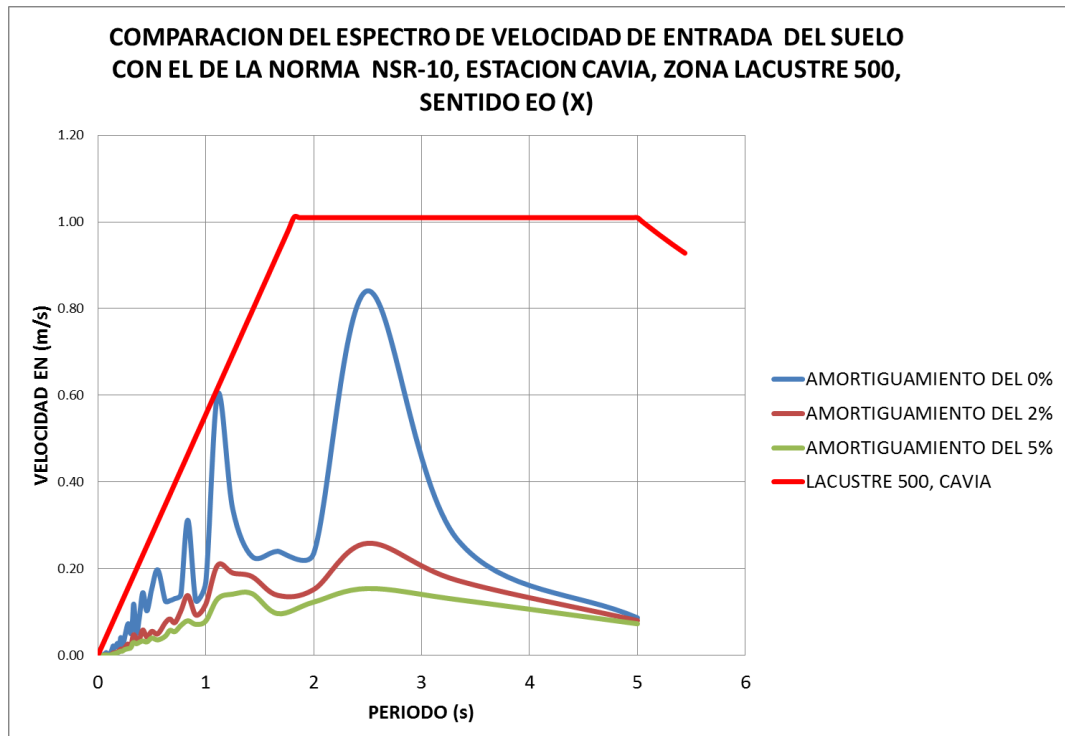


Fuente: Elaboración propia

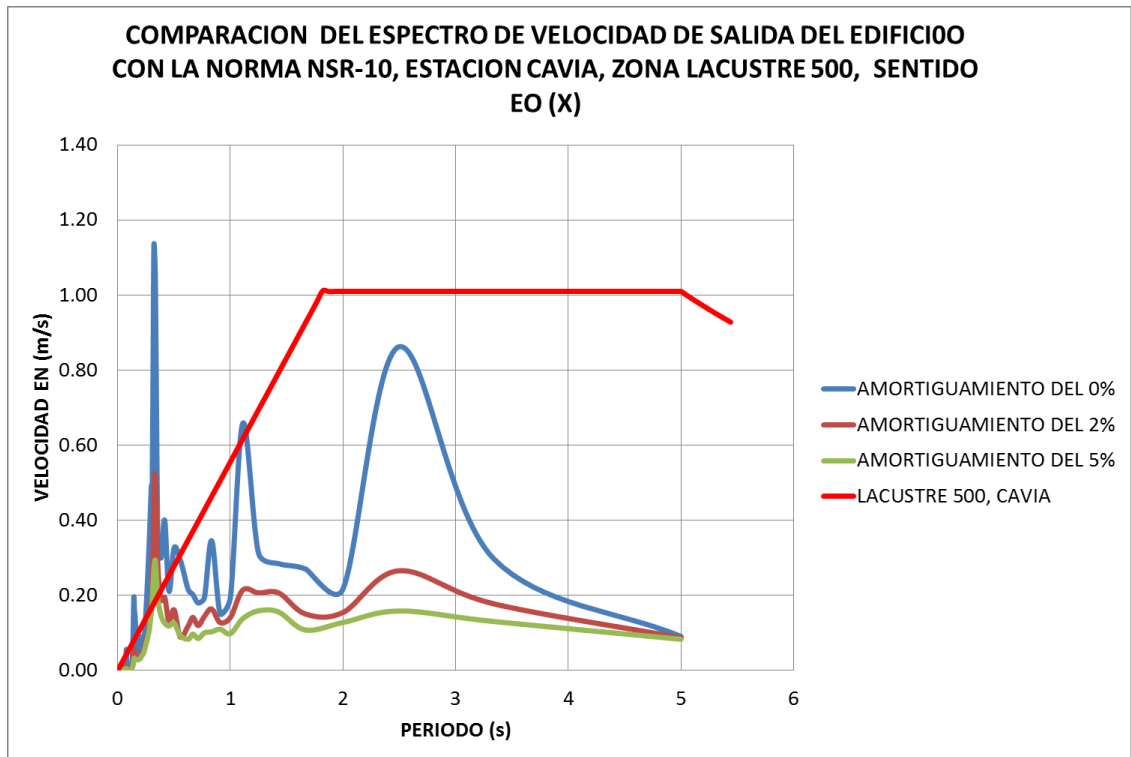


Fuente: Elaboración propia

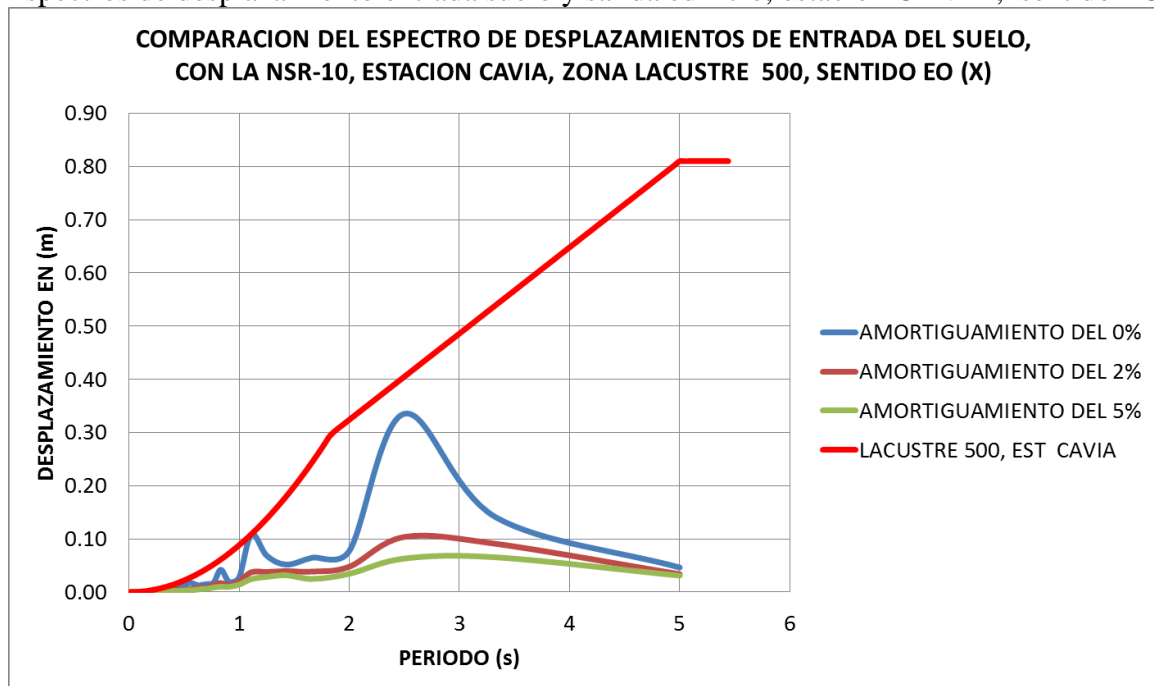
-Espectros de velocidad, entrada suelo y salida edificioo, estación CAVIA y la NSR-10, sentido EO:

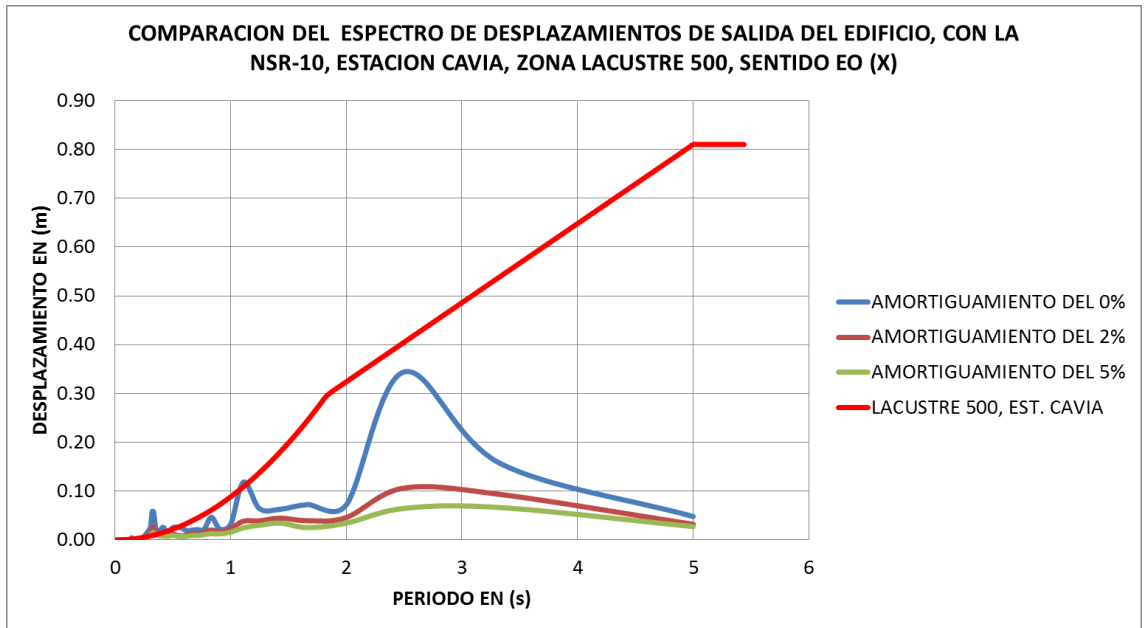


Fuente: Elaboración propia

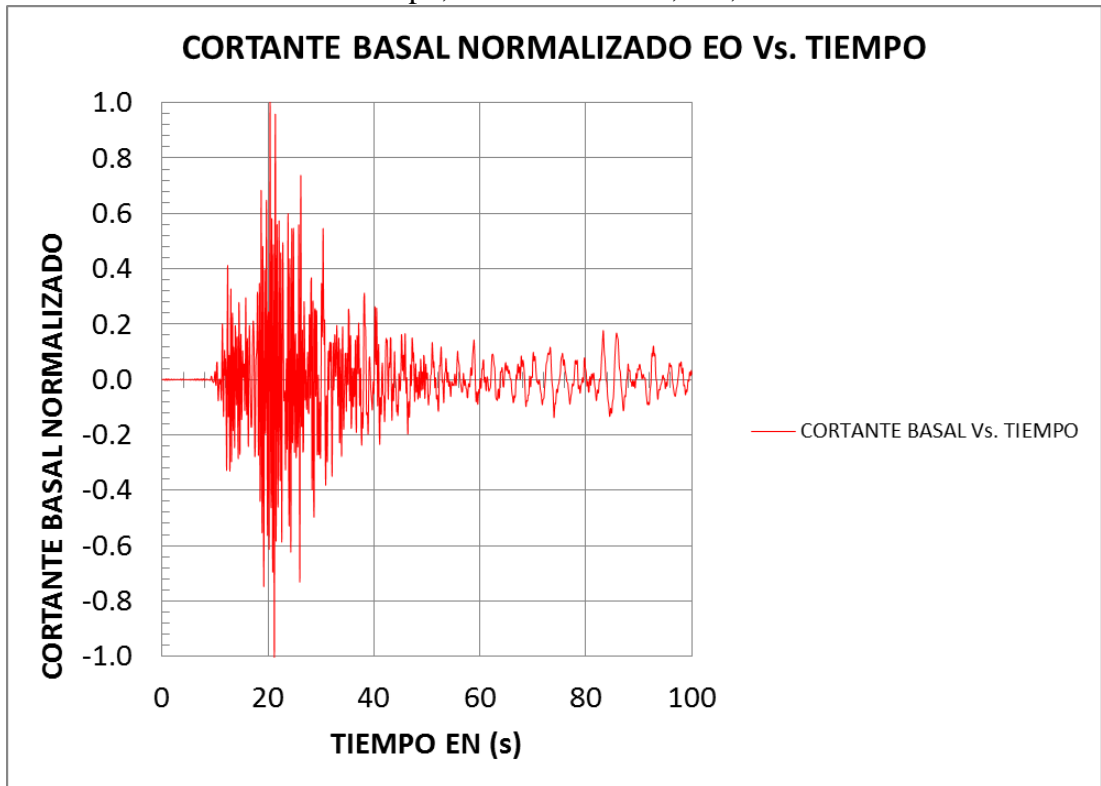


-Espectros de desplazamiento entrada suelo y salida edificio, estación CAVIA, sentido EO:



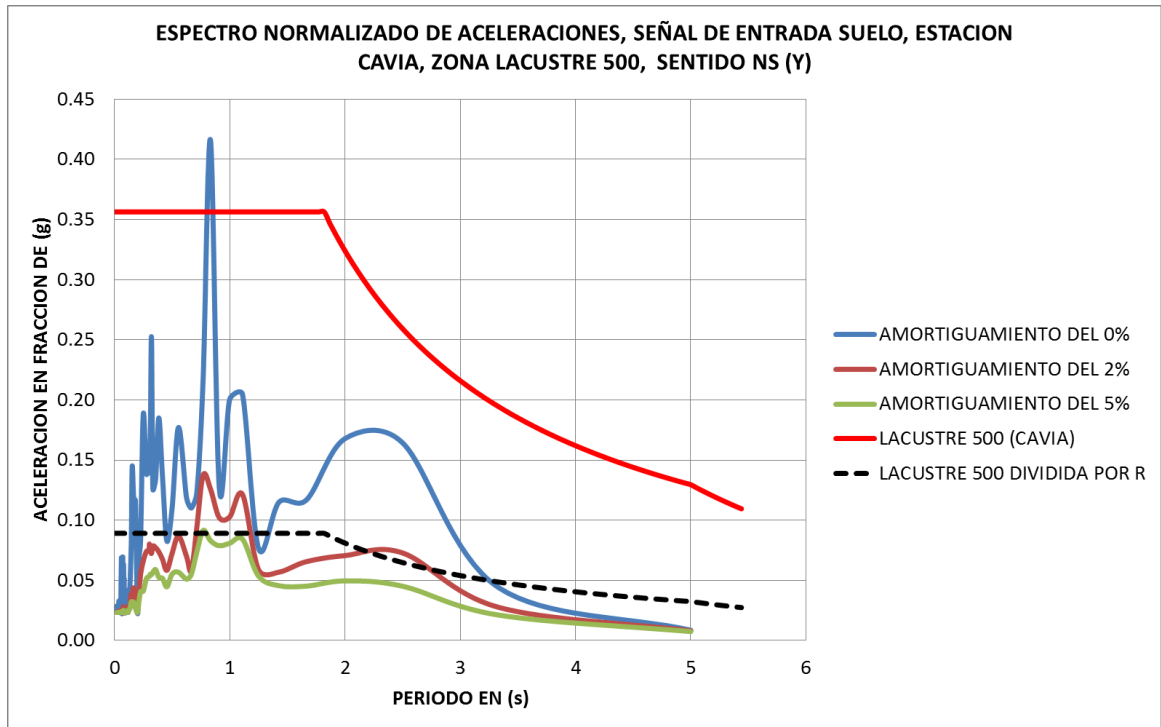


-Cortante normalizado versus tiempo, estación CAVIA, EO, Lacustre 500:

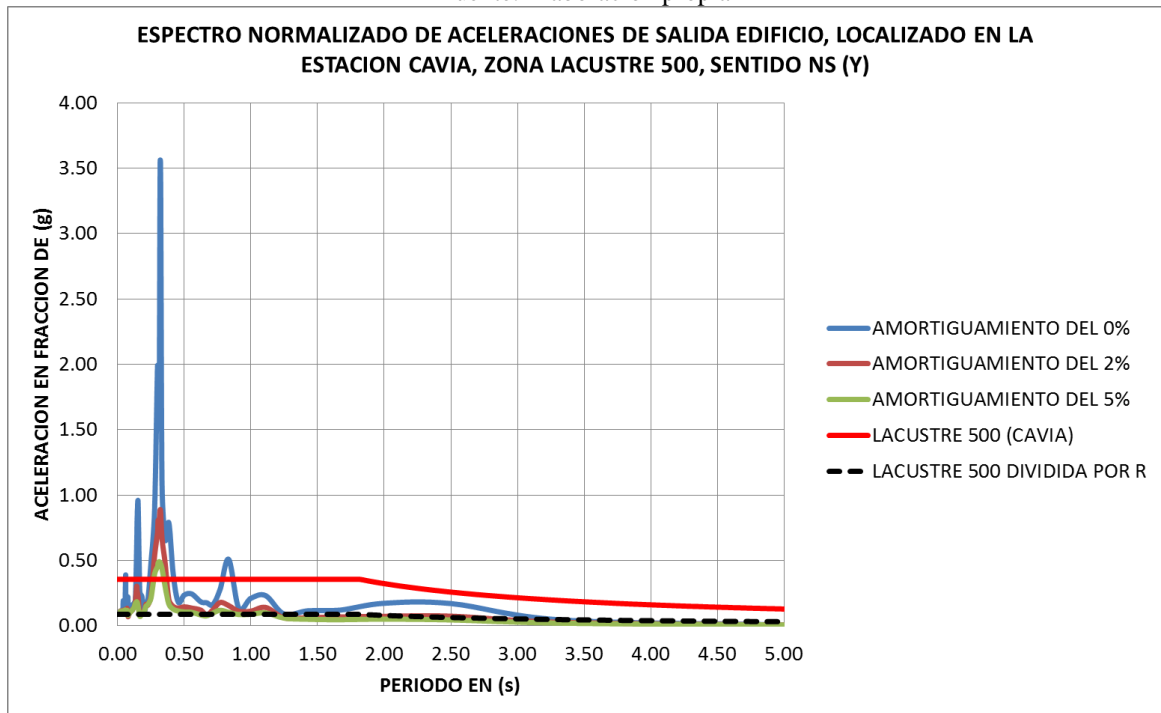


ESTACION AVIANCA, LACUSTRE 500, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración, entrada suelo y salida edificio, estación CAVIA y la NSR-10, sentido NS:

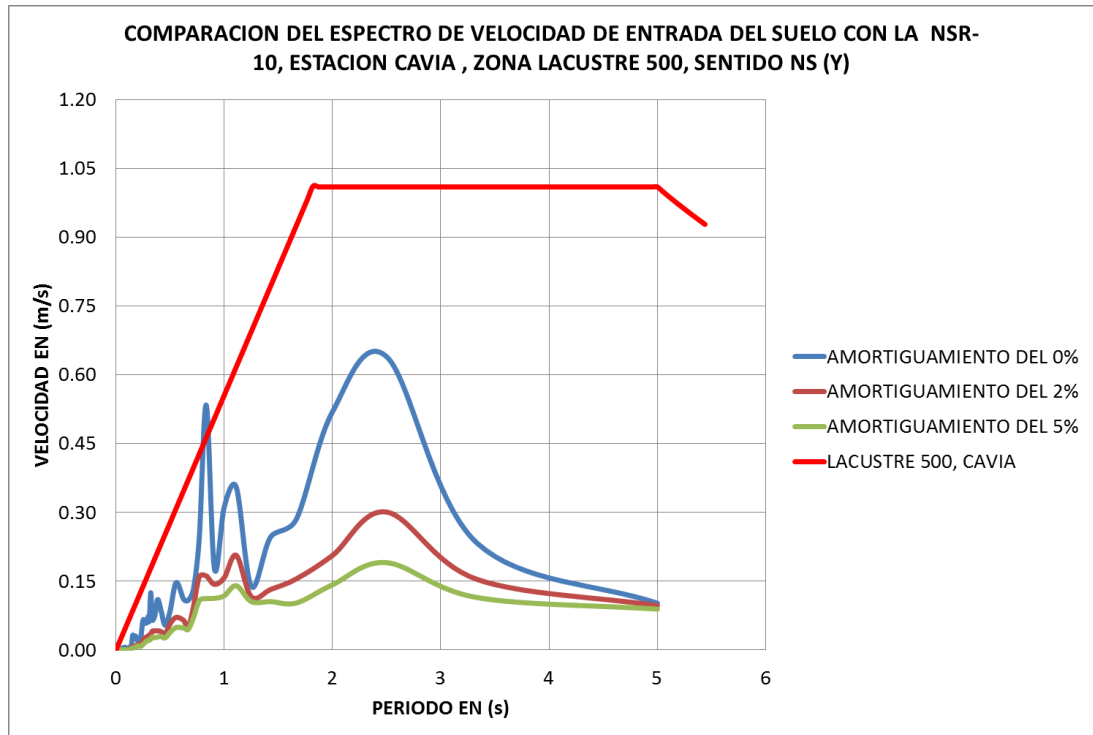


Fuente: Elaboración propia

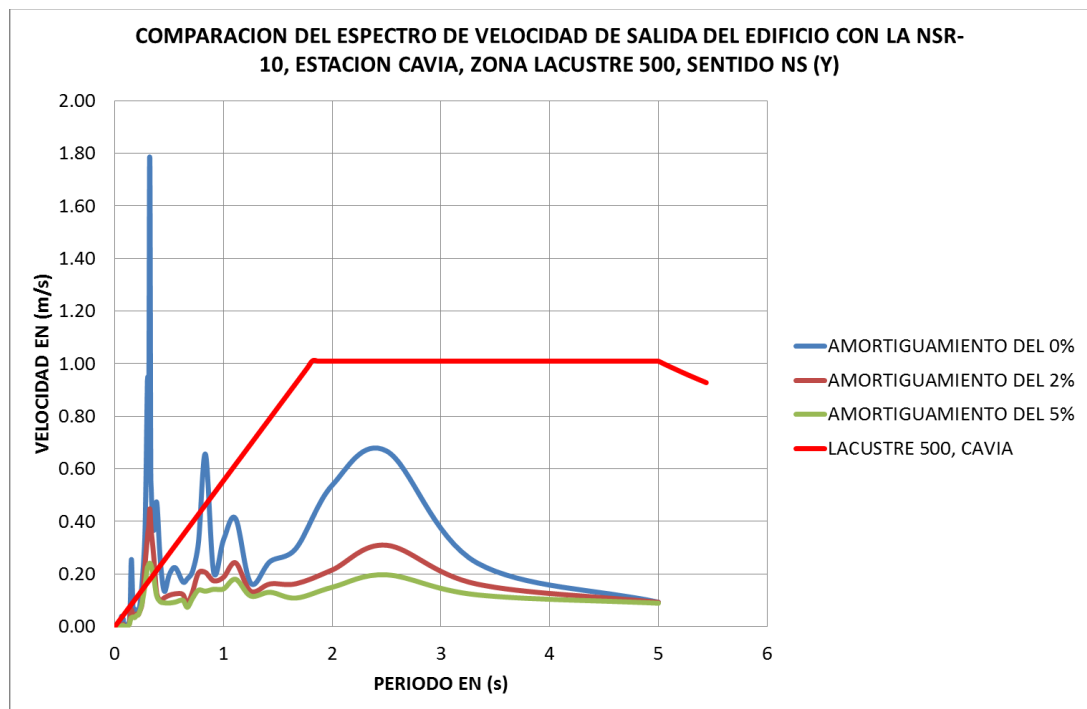


Fuente: Elaboración propia

-Espectros de velocidad, entrada suelo y salida edificio, estación CAVIA y la NSR-10, sentido NS:

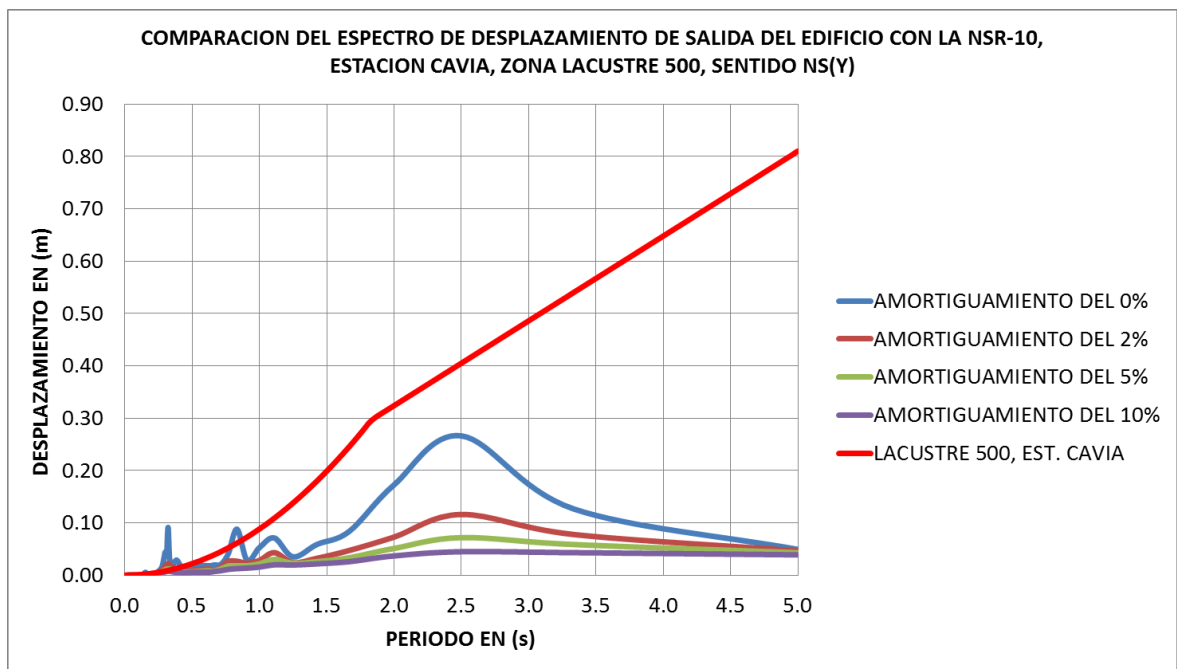
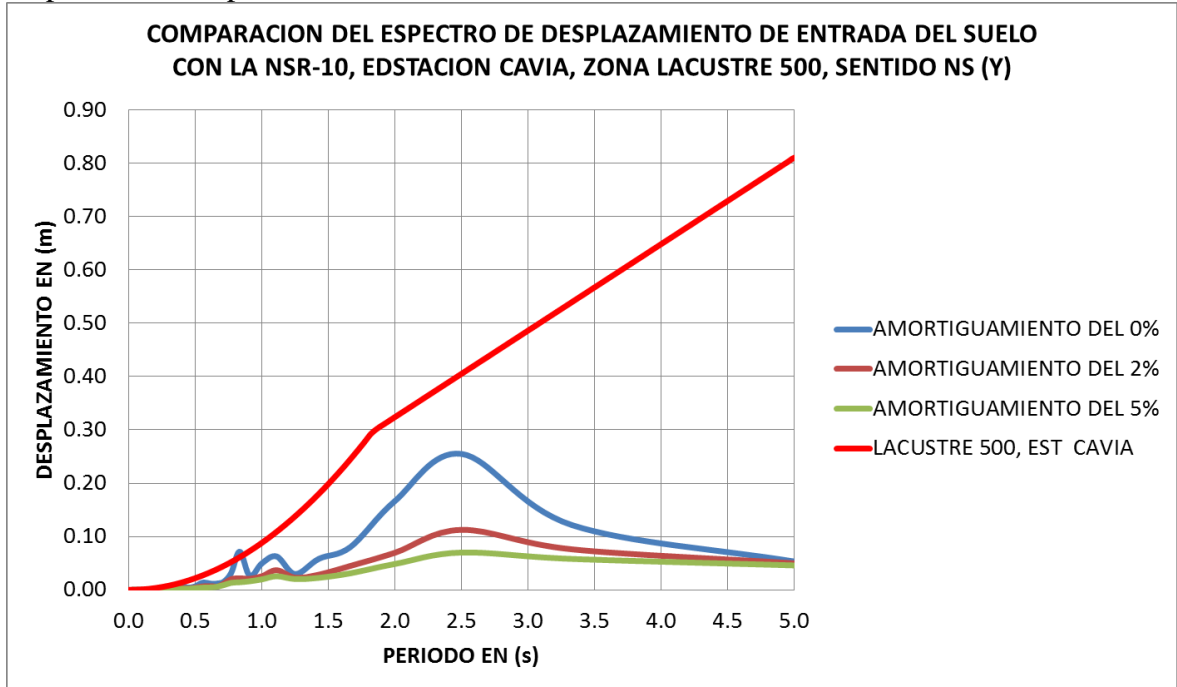


Fuente: Elaboración propia

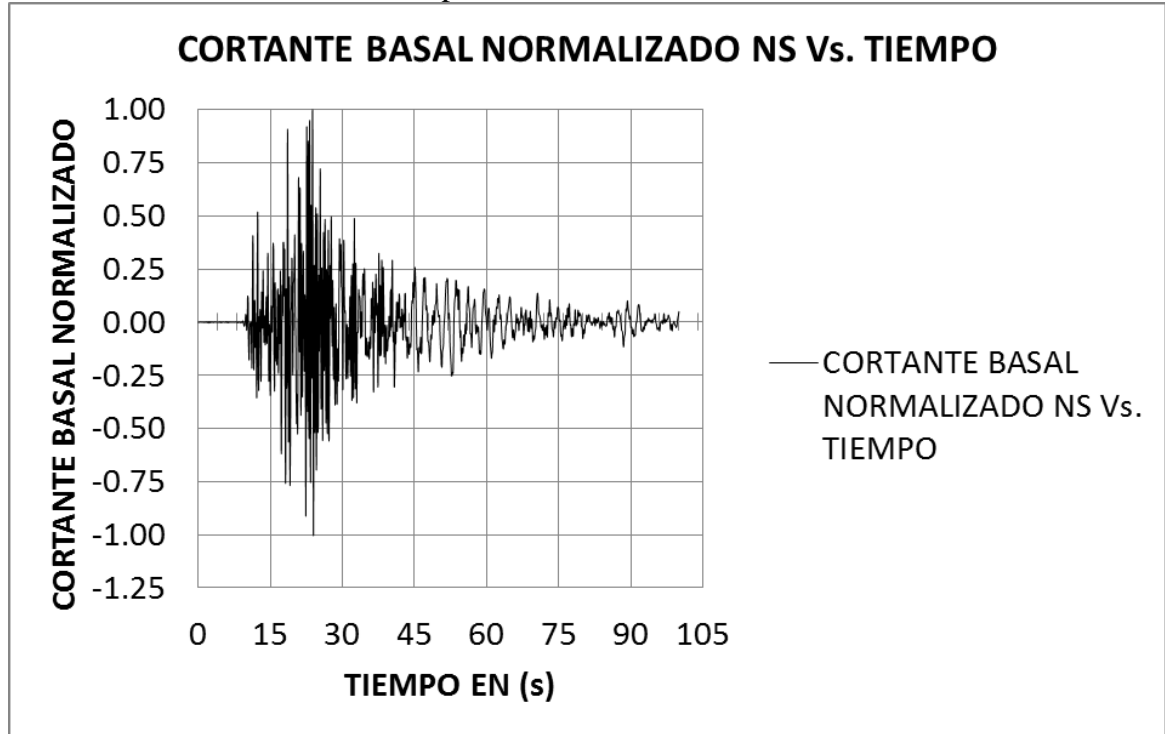


Fuente: Elaboración propia

-Espectros de desplazamiento estación CAVIA, sentido NS:



-Cortante normalizado versus tiempo, estación CAVIA, NS, Lacustre 500:

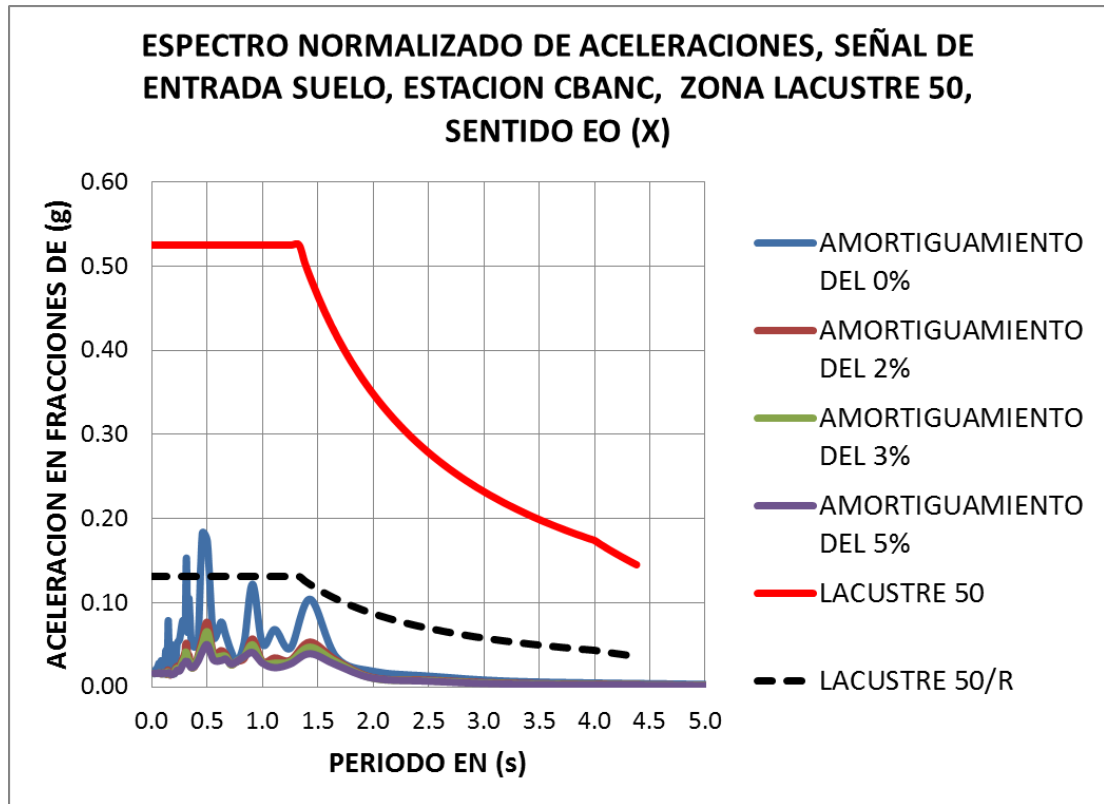


Fuente: Elaboración propia

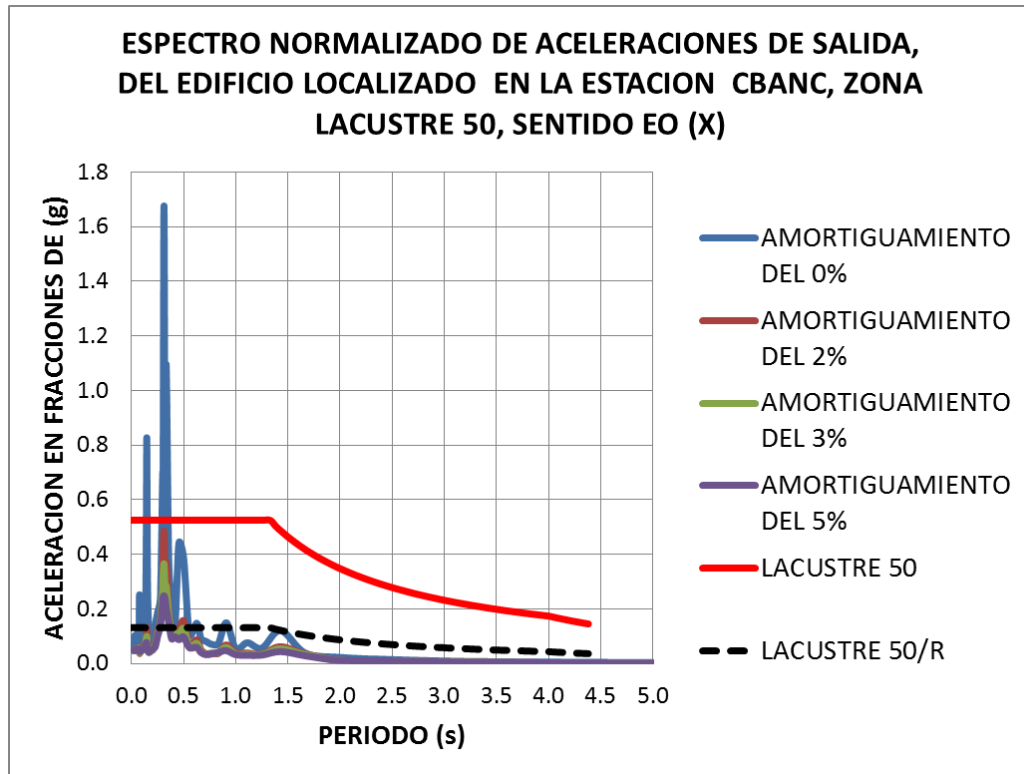
- 2) **Estación Banco de la Republica:** El código en la RAB es CBANC, ubicada en la Kr. 57 # 120-01. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **LACUSTRE 50** de la **MZSB**. Se presentan a continuación las gráficas de espectros para cada dirección de los acelerogramas, sentidos EO (Oriente Occidente) y NS (Norte Sur), respectivamente

ESTACION CBANC, LACUSTRE 50, SENTIDO EO (X):

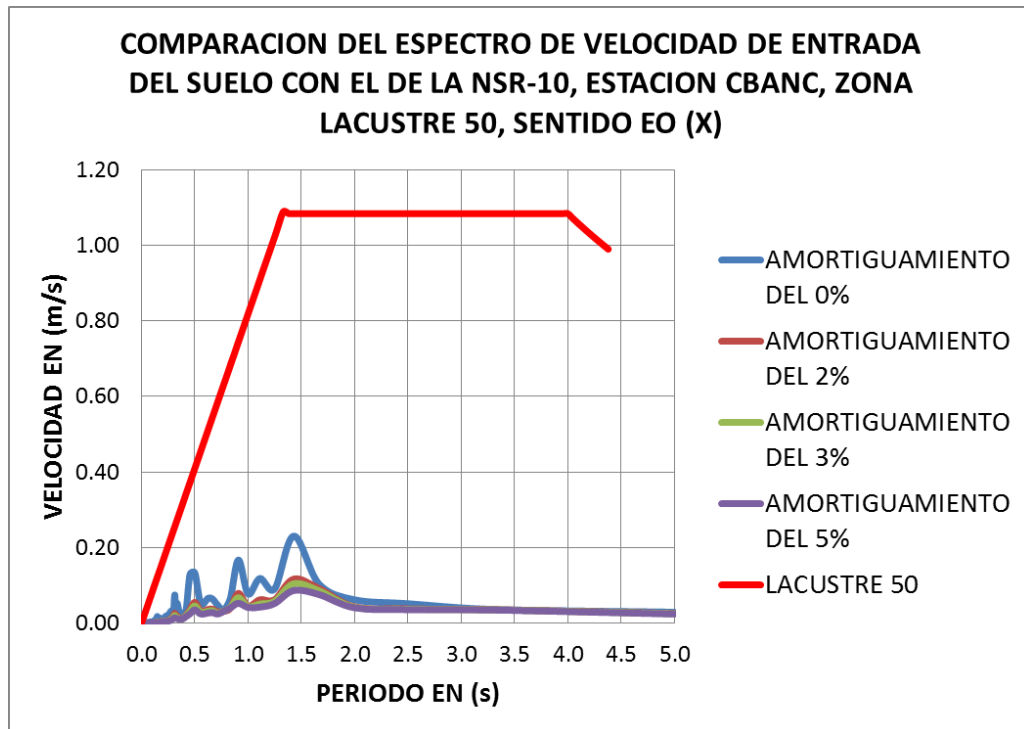
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBANC y NSR-10, sentido EO:



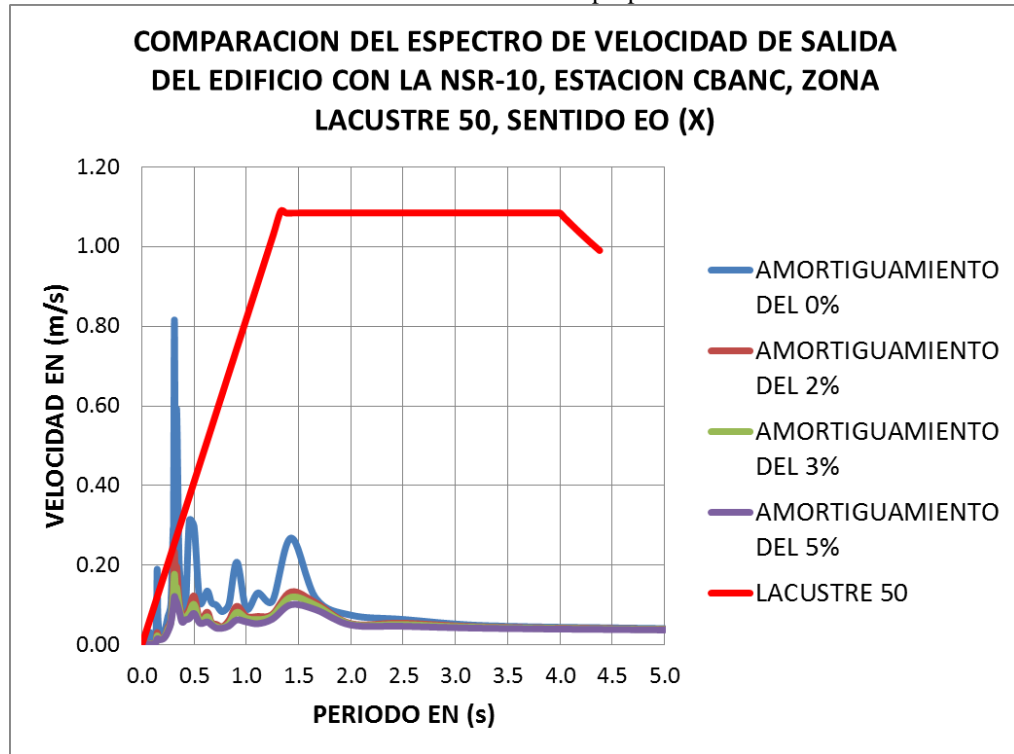
Fuente: Elaboración propia



- Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CBANC y la NSR-10, sentido EO:

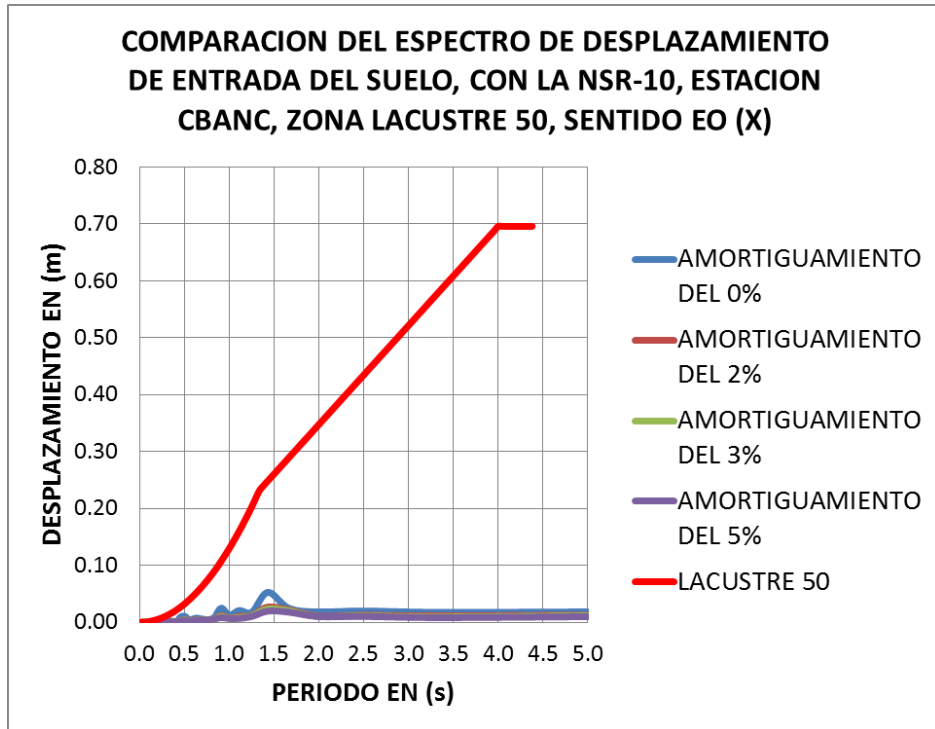


Fuente: Elaboración propia

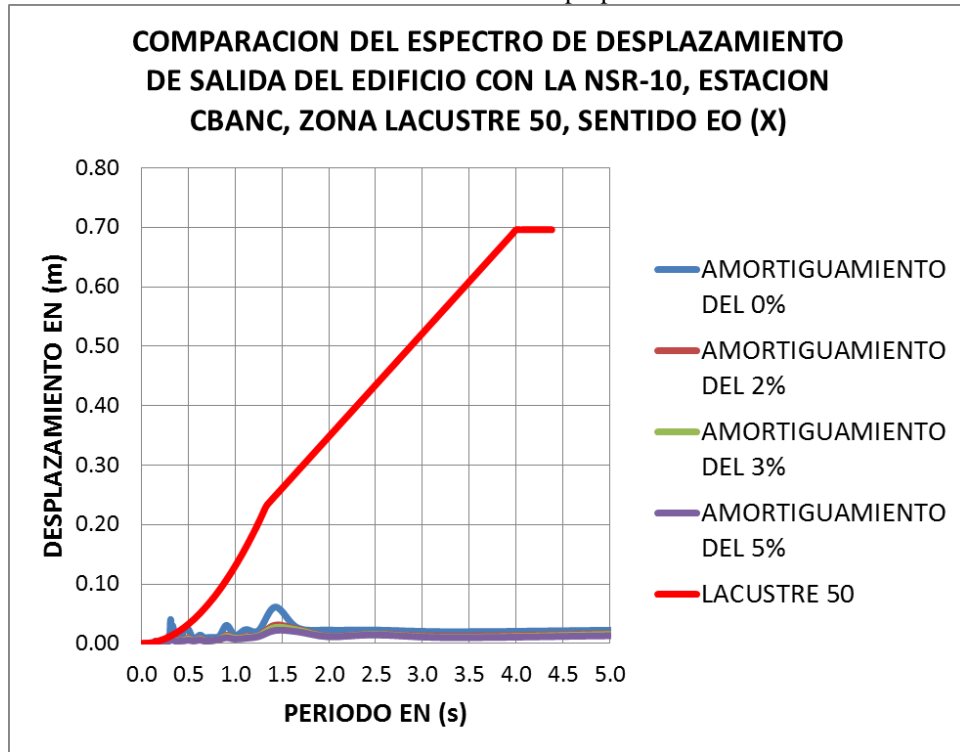


Fuente: Elaboración propia

- Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CBANC y la NSR-10, sentido EO:

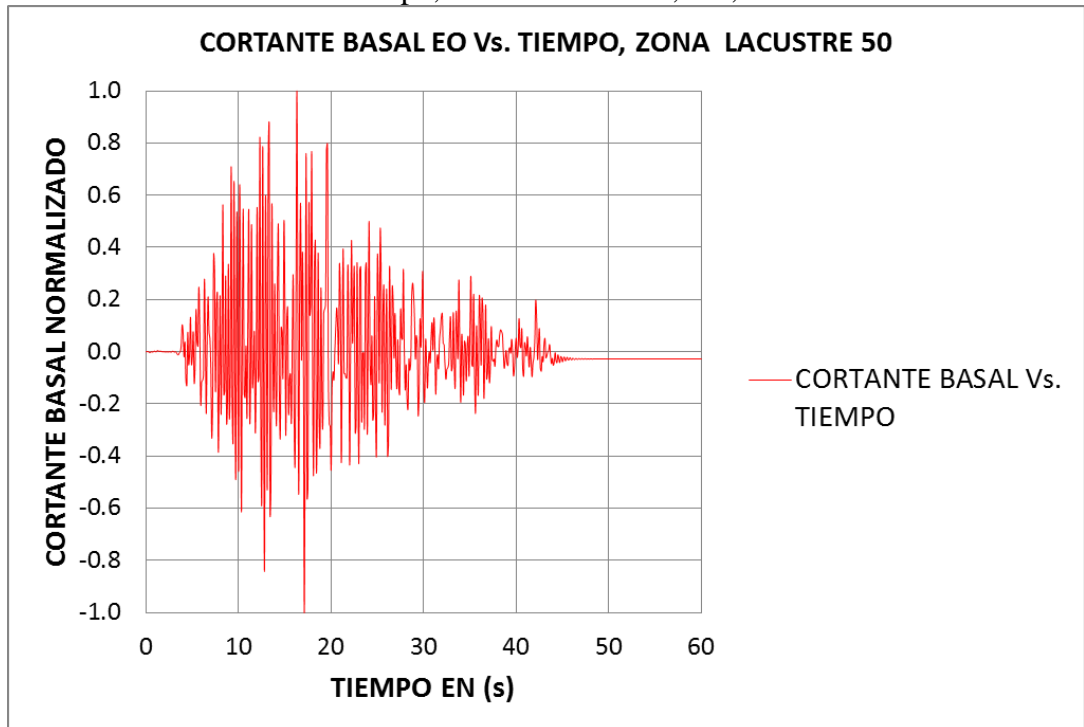


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

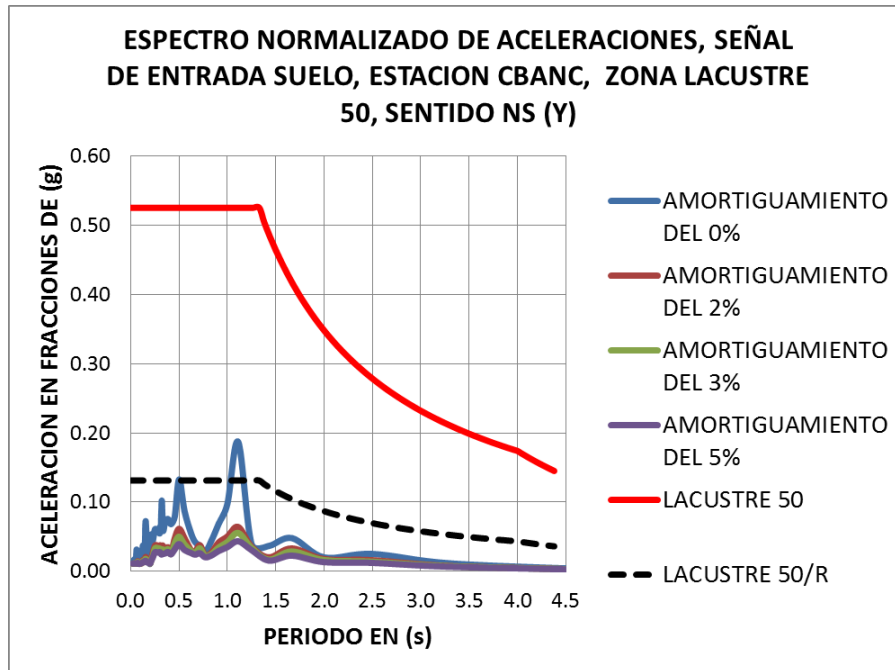
-Cortante normalizado versus tiempo, estación CBANC, EO, Lacustre 50:



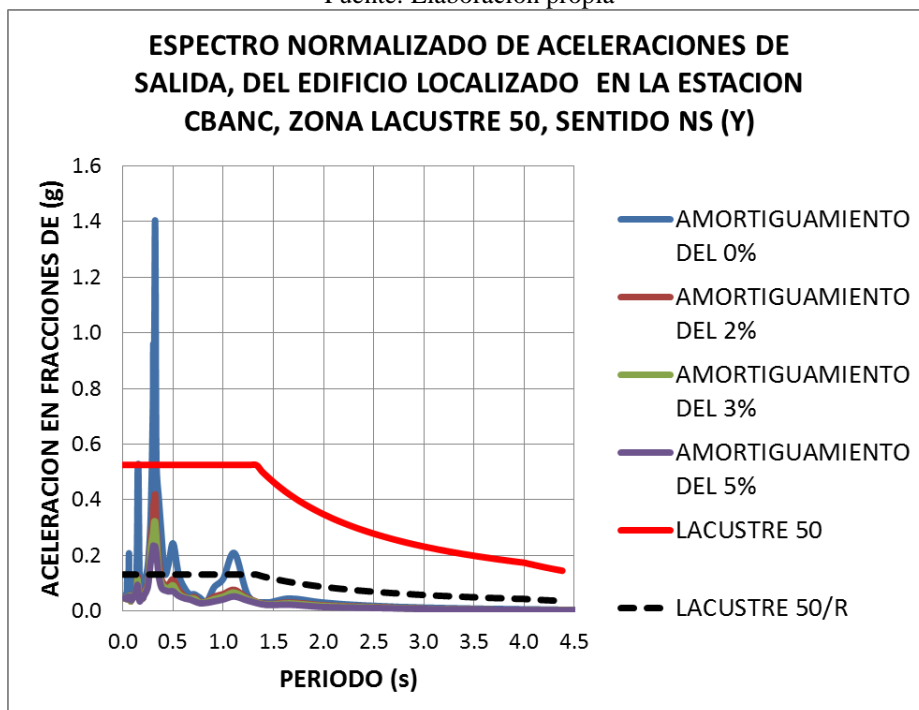
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CBANC, LACUSTRE 50, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBANC y NSR-10, sentido NS:

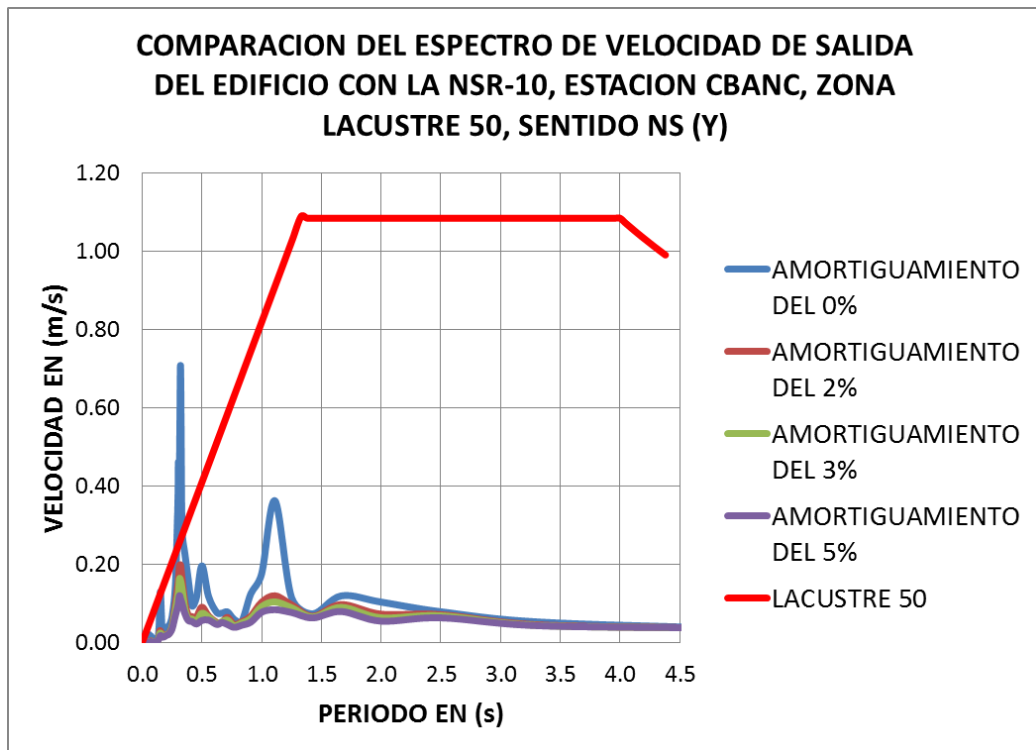
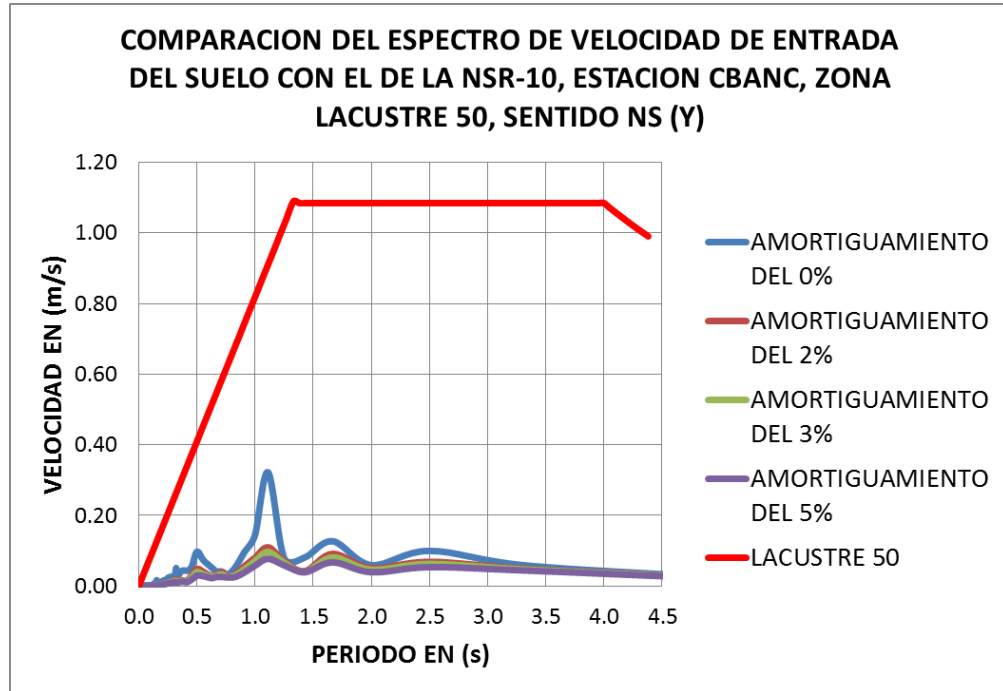


Fuente: Elaboración propia

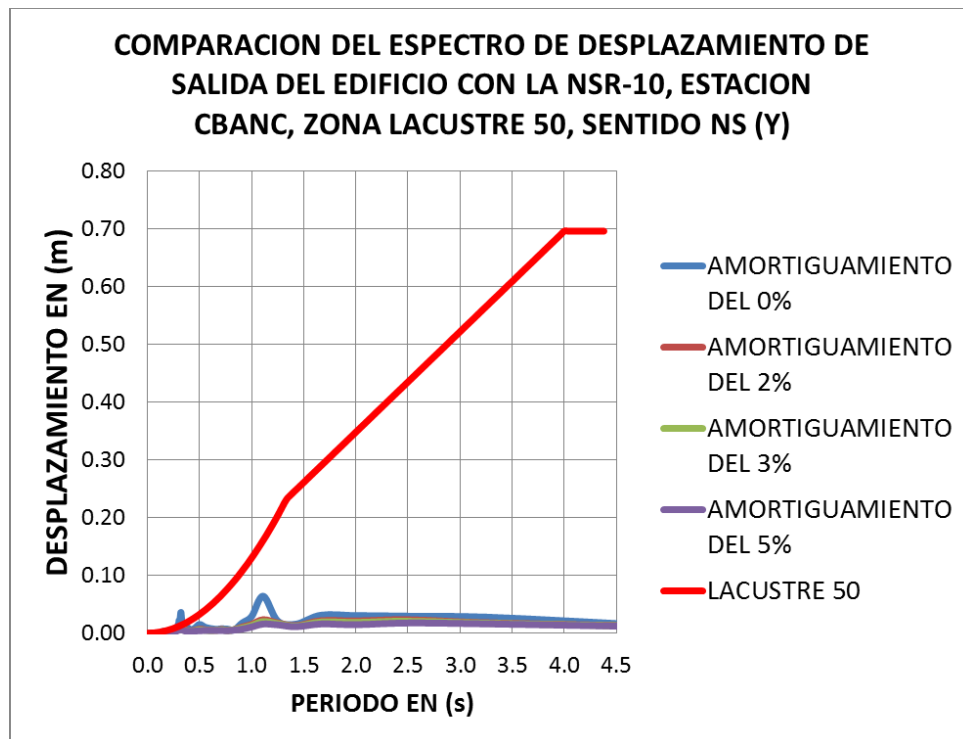
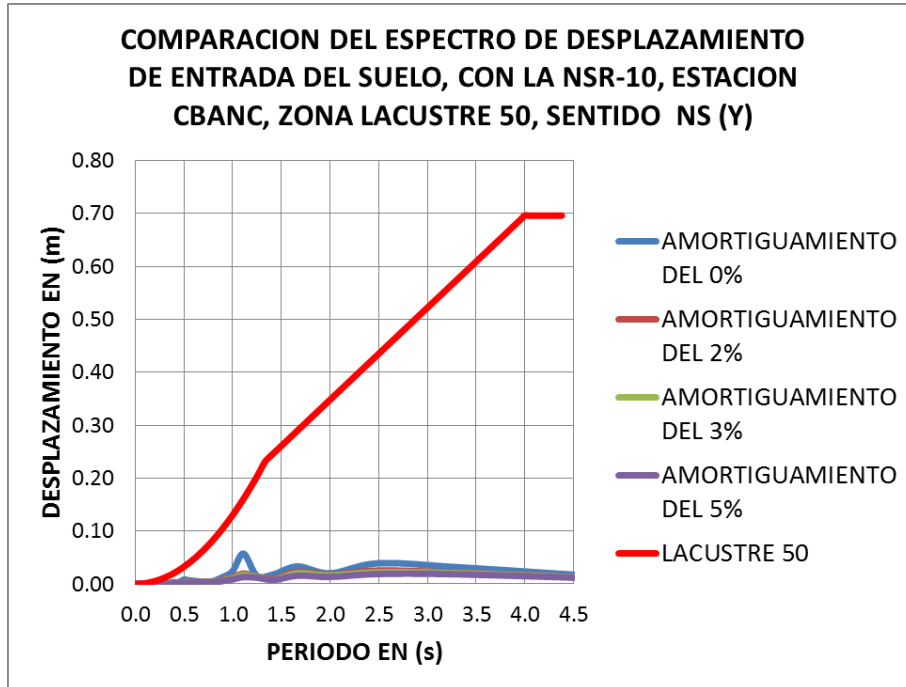


Fuente: Elaboración propia

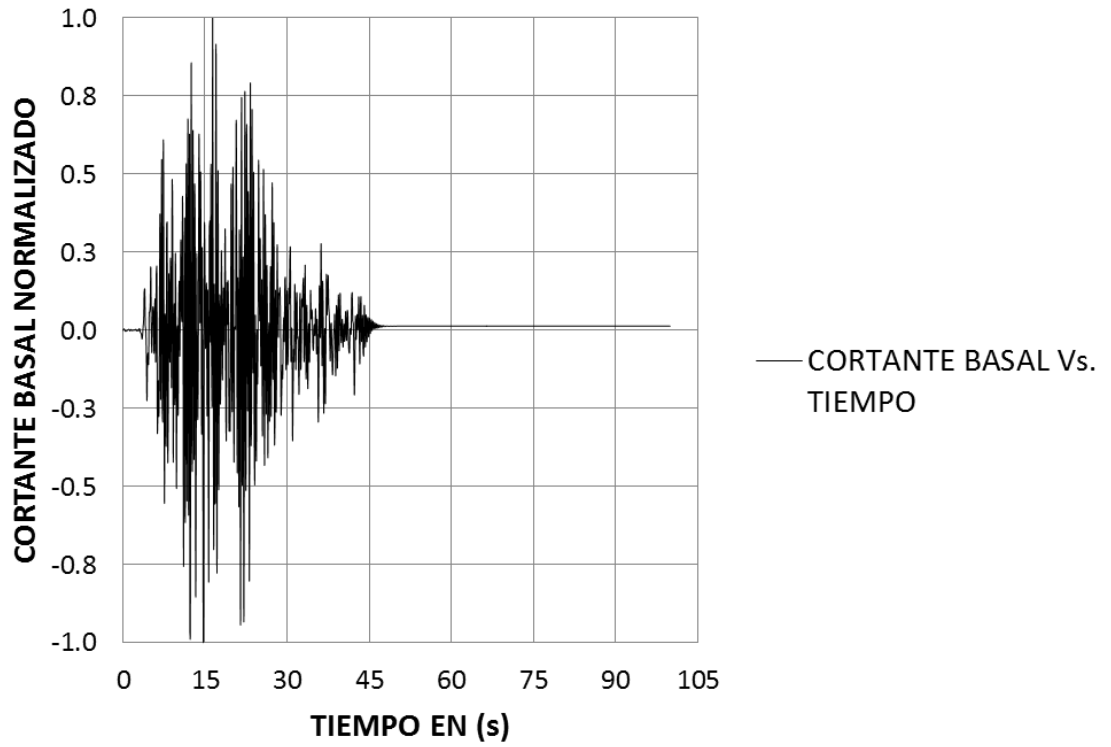
- Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CBANC y la NSR-10, sentido NS:



- Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CBANC y la NSR-10, sentido NS:



CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA LACUSTRE 50

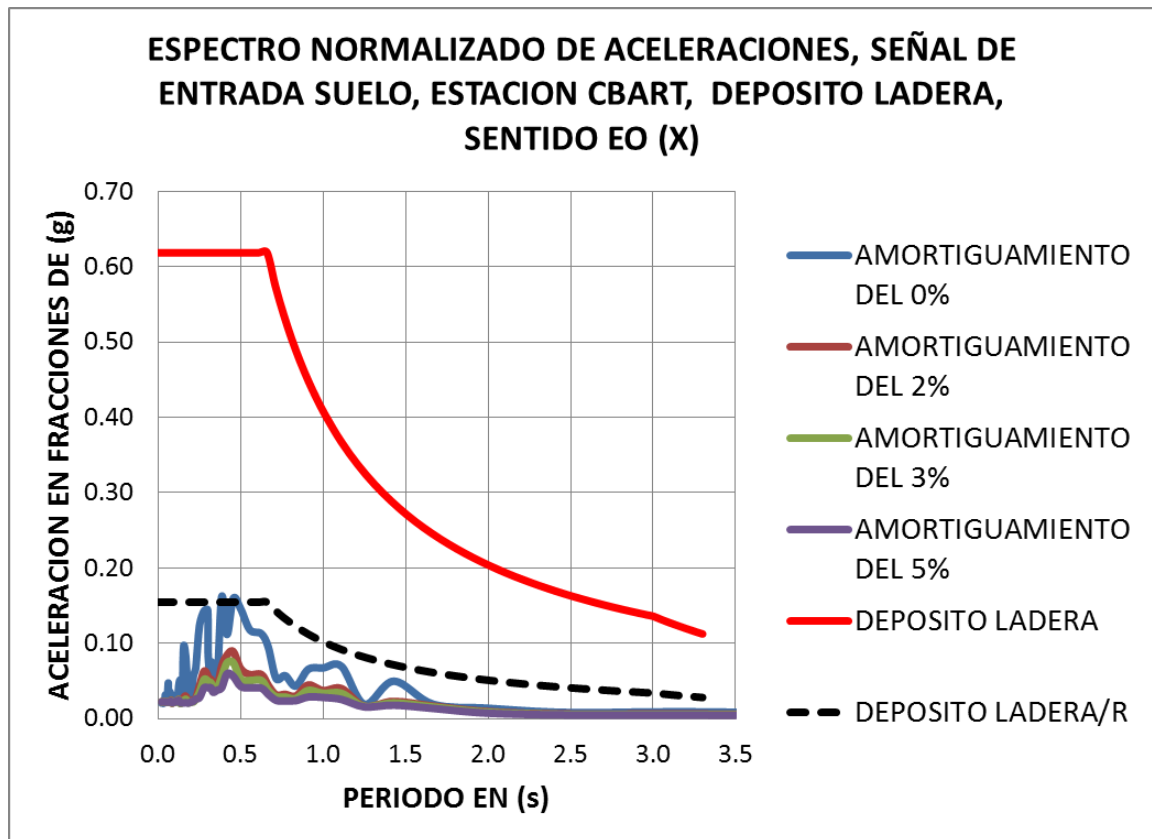


Fuente: Elaboración propia

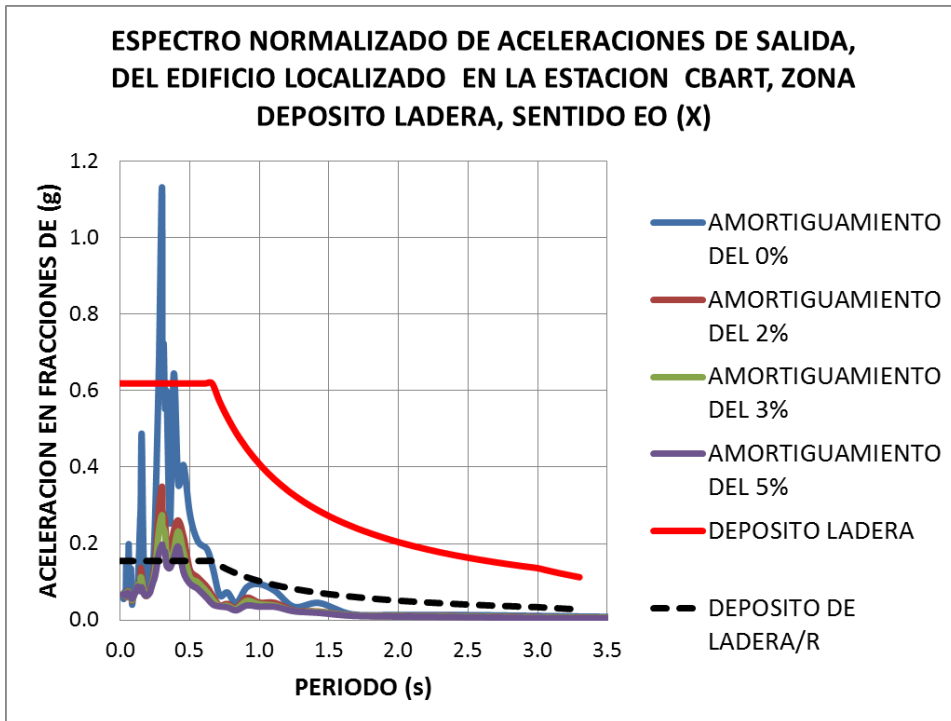
- 3) **Estación Colegio San Bartolomé:** El código en la RAB es CBART, ubicada en la Kr. 5 # 34-00. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **DEPOSITO LADERA** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CBART, DEPOSITO LADERA, SENTIDO EO (X):

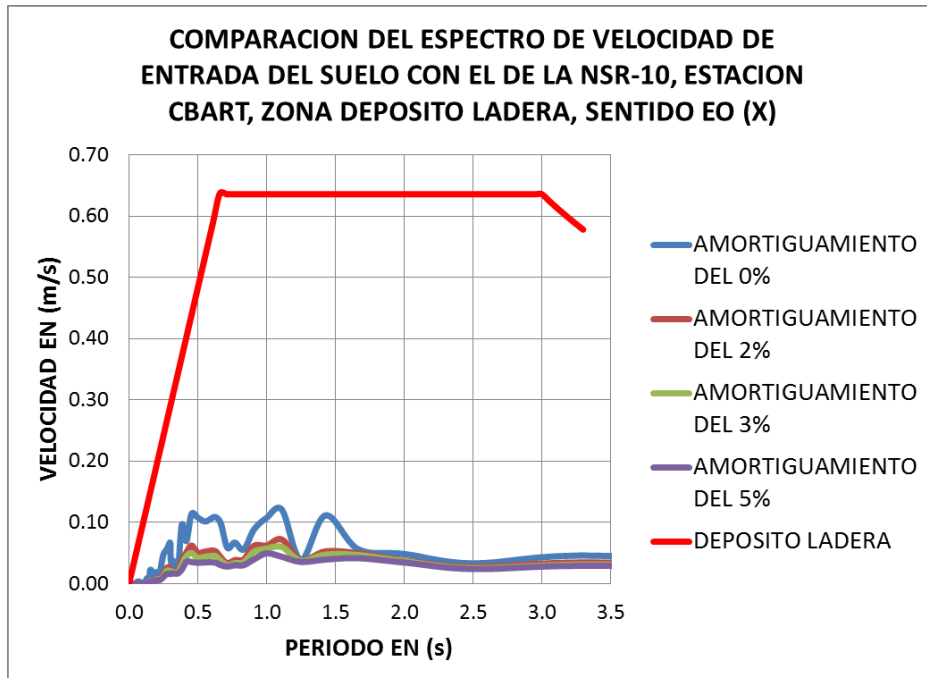
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBART y NSR-10, sentido EO:

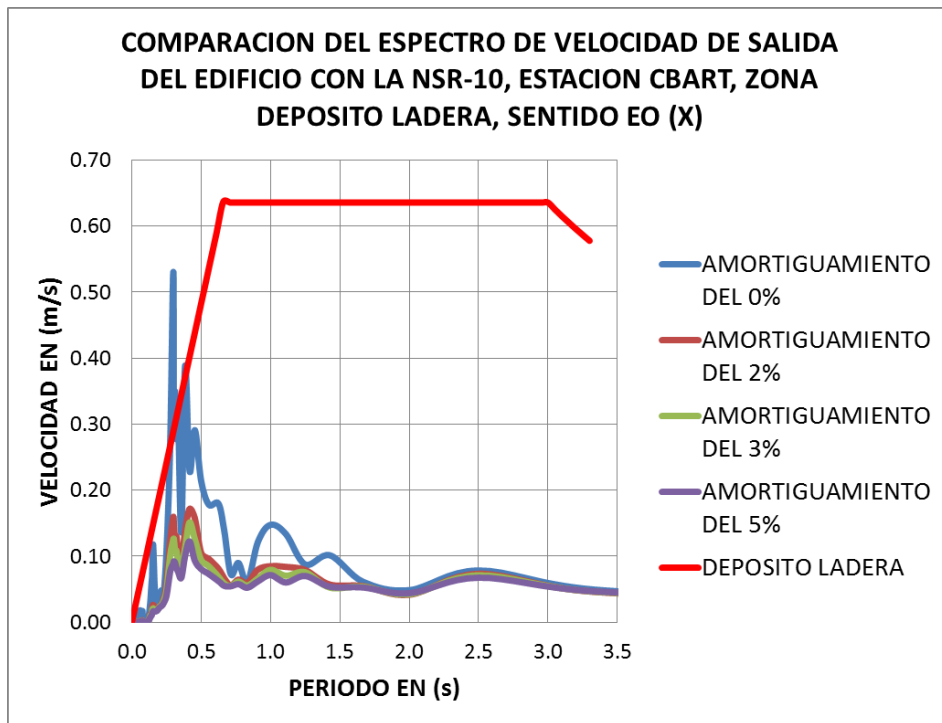


Fuente: Elaboración propia

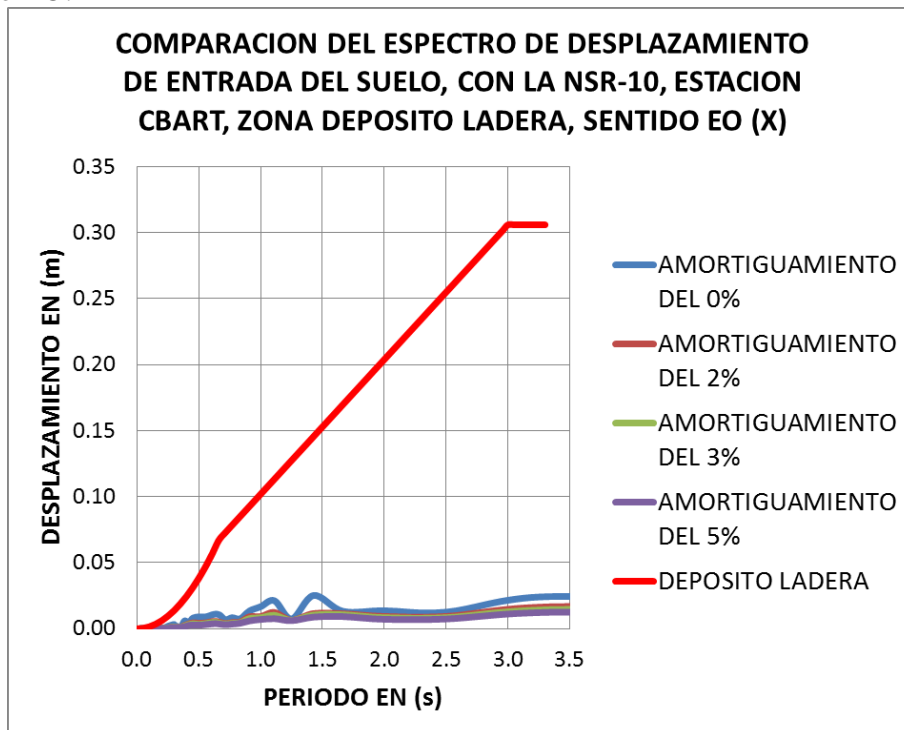


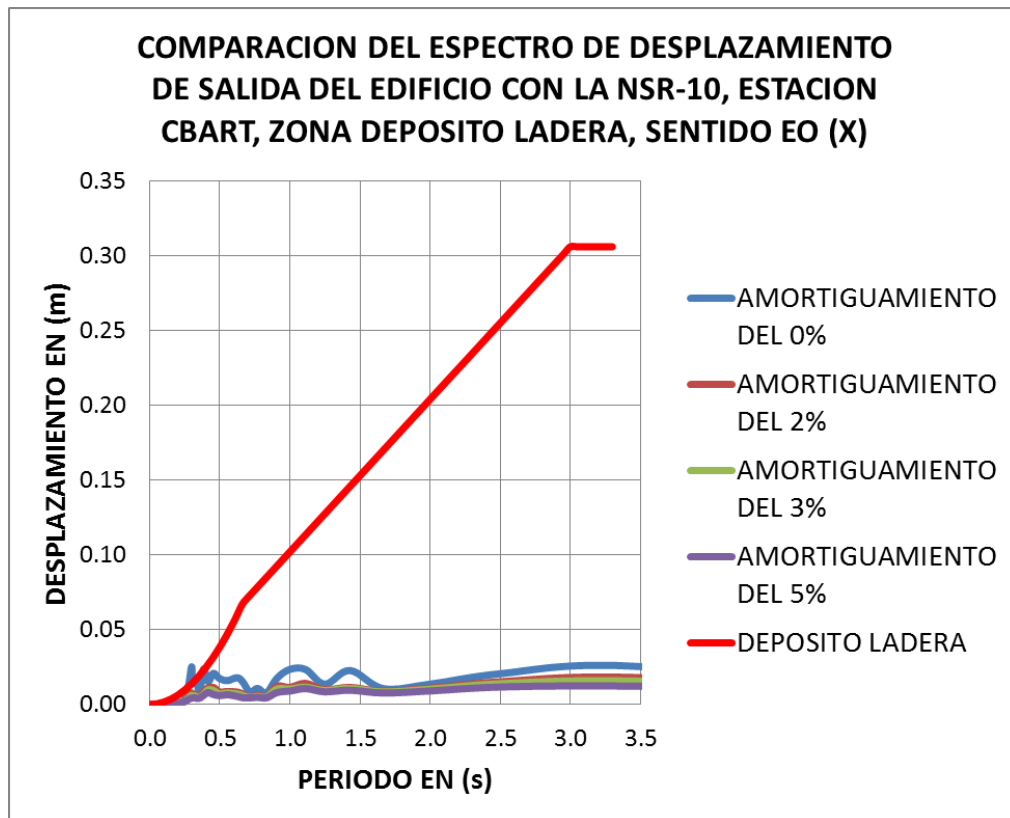
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CBART y NSR-10, sentido EO:



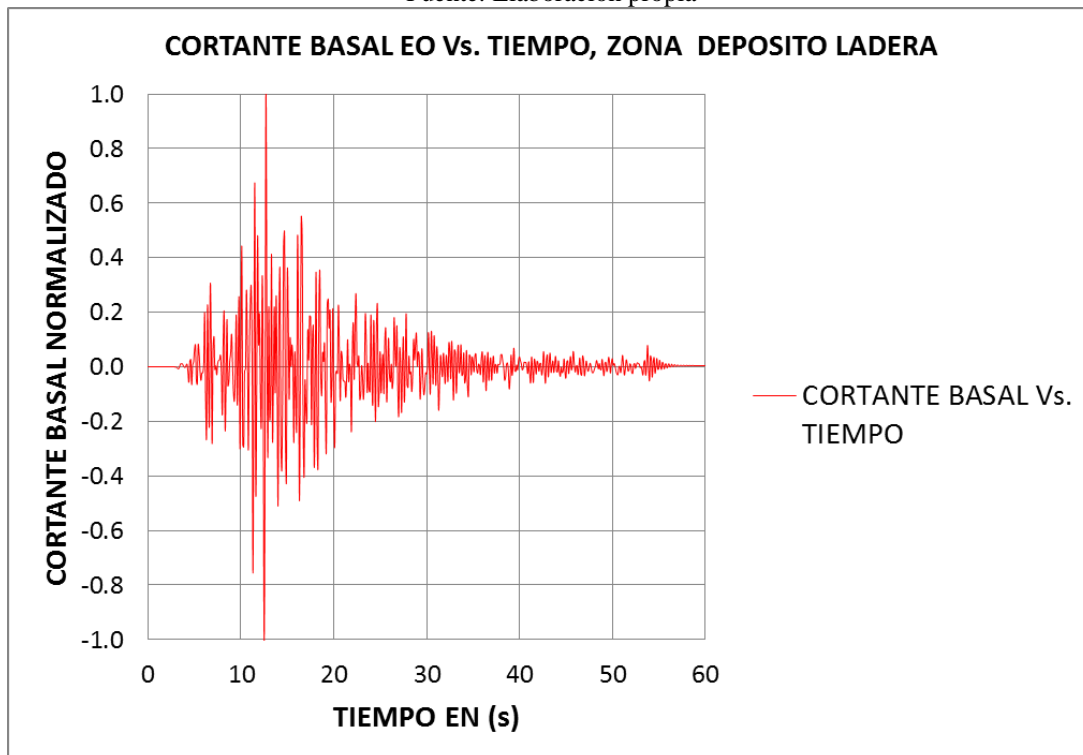


-Espectros de desplazamientos de entrada suelo y salida edificio, estación CBART y NSR-10, sentido EO:





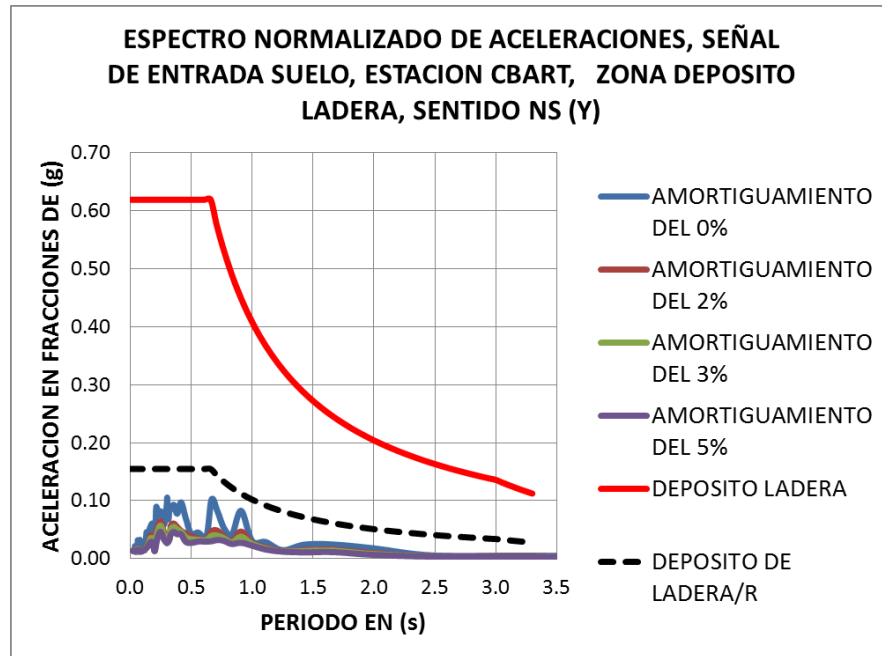
Fuente: Elaboración propia



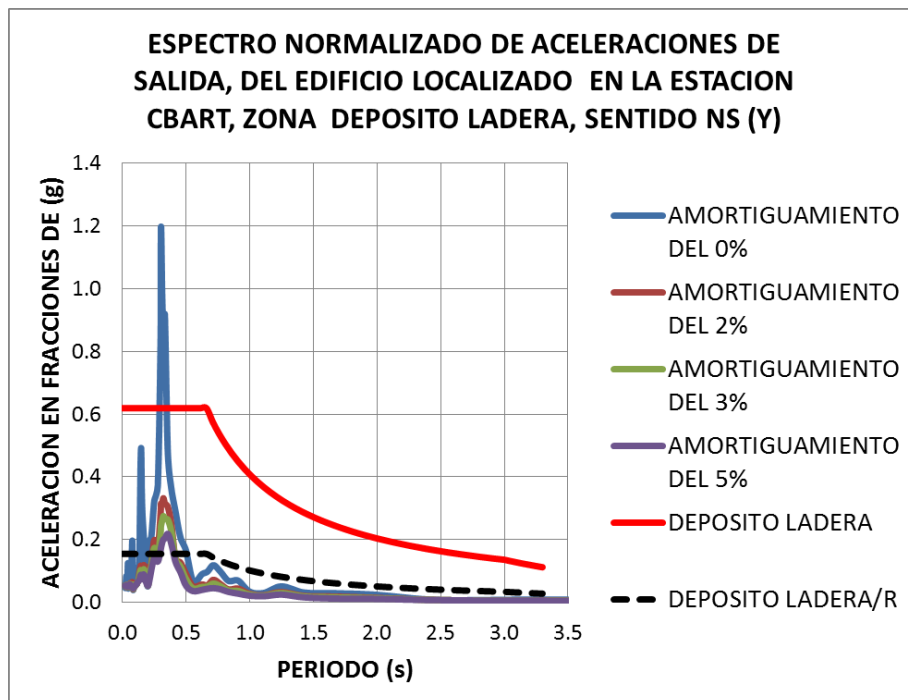
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CBART, DEPOSITO LADERA, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBART y NSR-10, sentido NS:

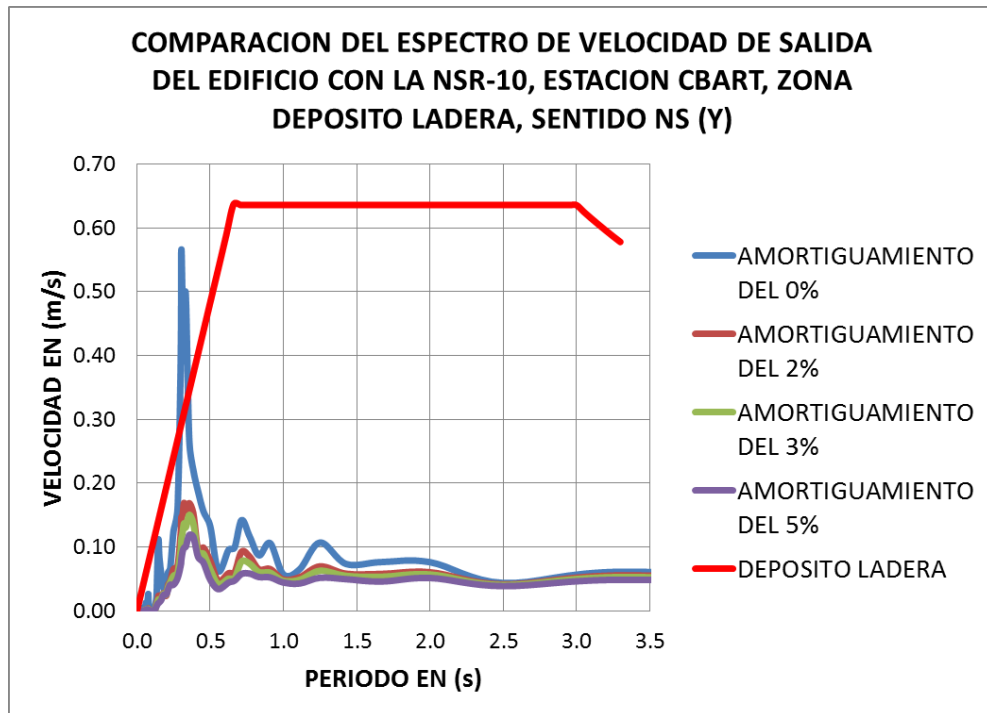
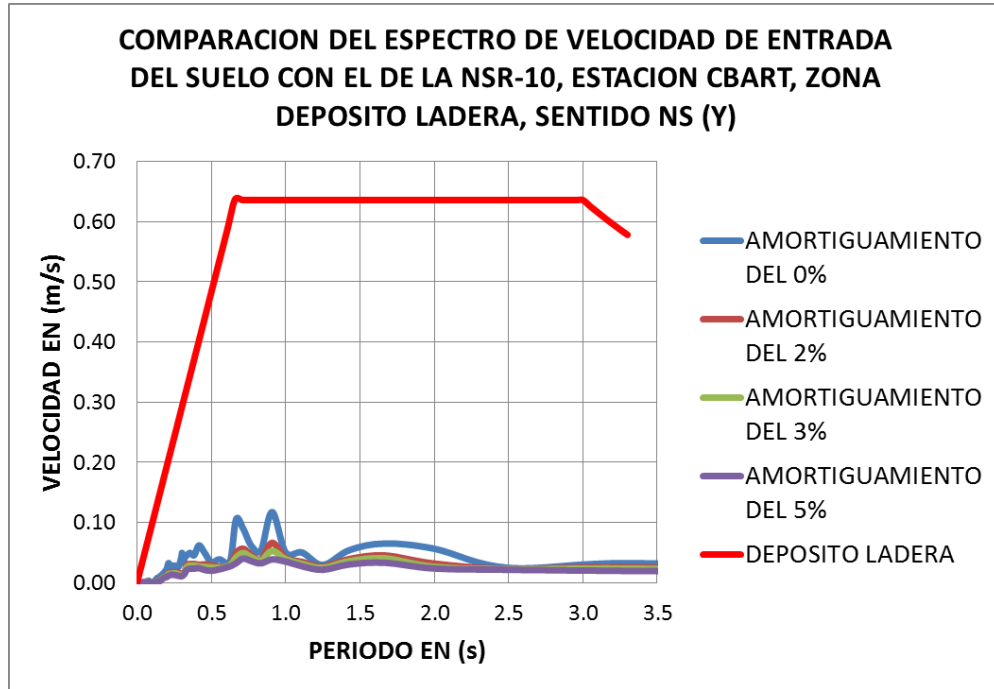


Fuente: Elaboración propia

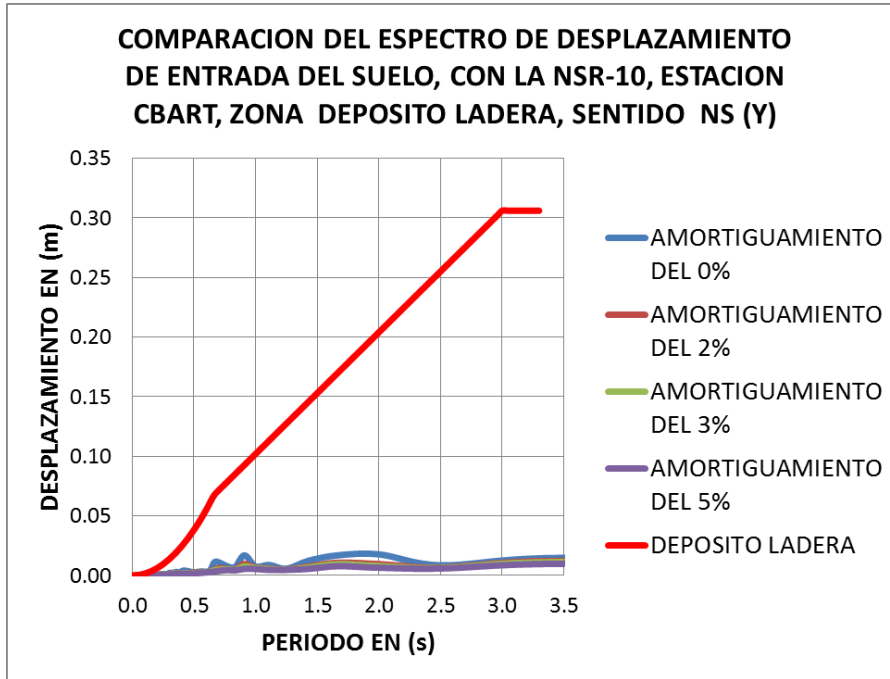


Fuente: Elaboración propia

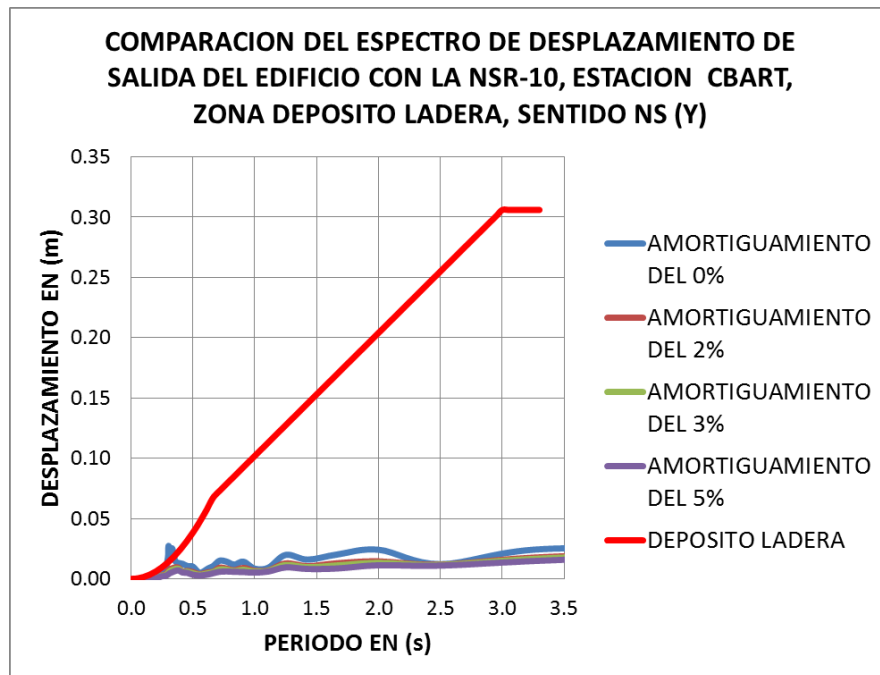
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CBART y NSR-10, sentido NS:



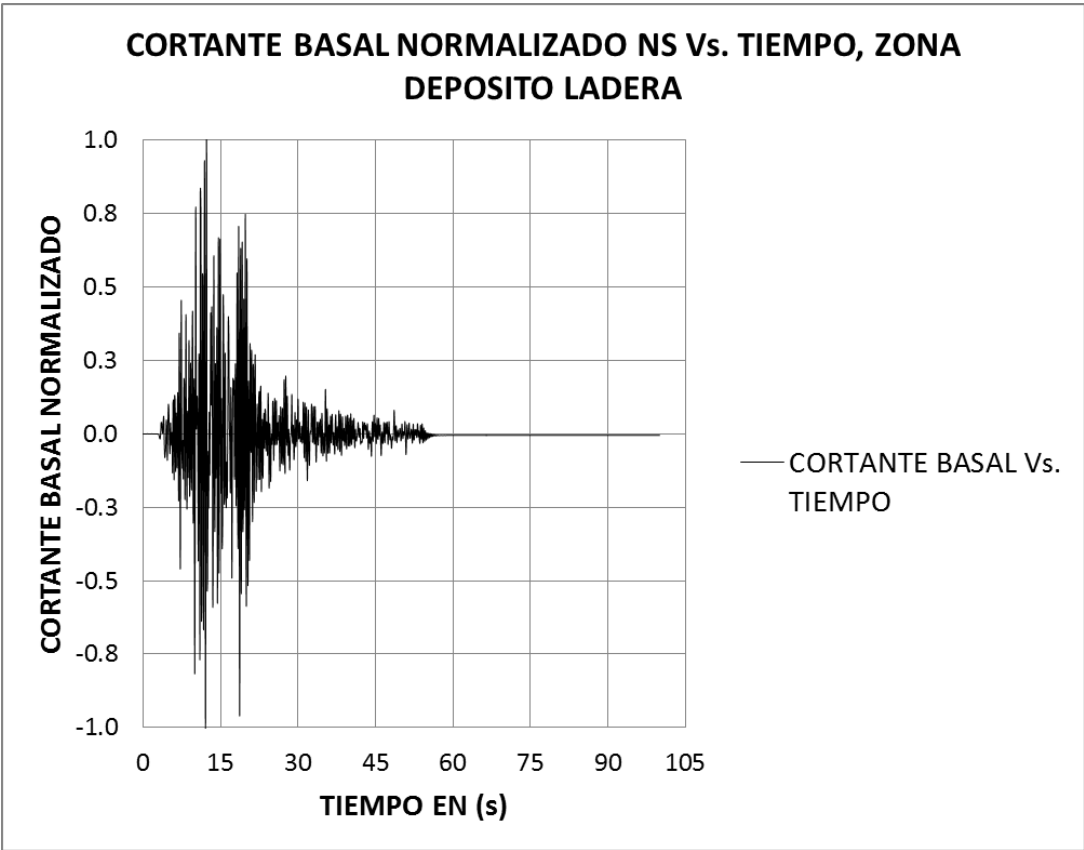
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CBART y NSR-10, sentido NS:



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

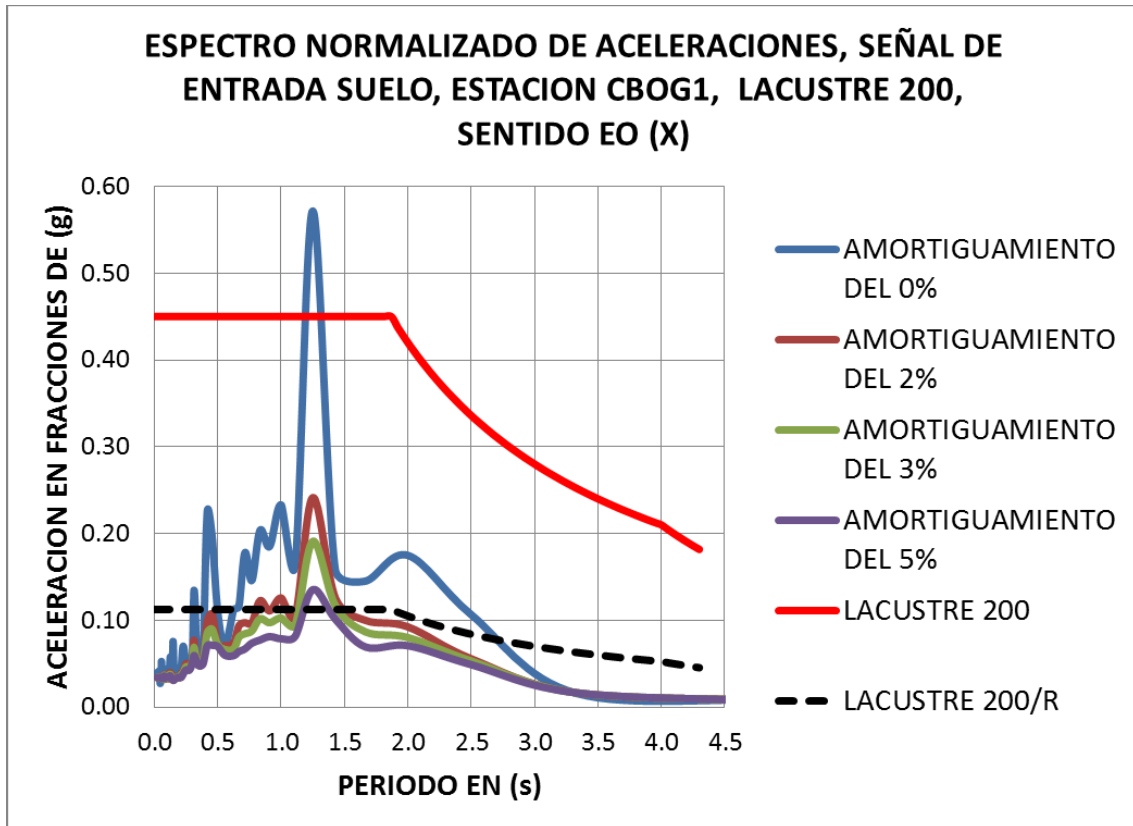


Fuente: Elaboración propia

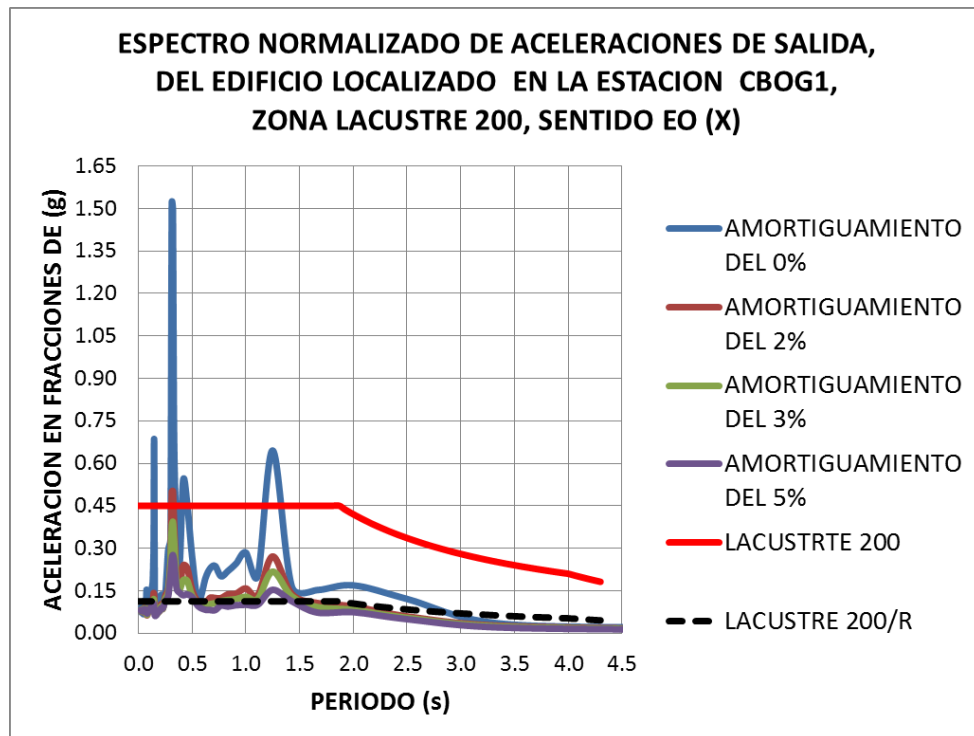
- 4) **Estación INGEOMINAS:** El código en la RAB es CBOG1, ubicada en la coordenada 4.641° de latitud Norte y -74.08° de Longitud Este. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **LACUSTRE 200** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CBOG1, LACUSTRE 200, SENTIDO EO (X):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG1 y NSR-10, sentido EO:

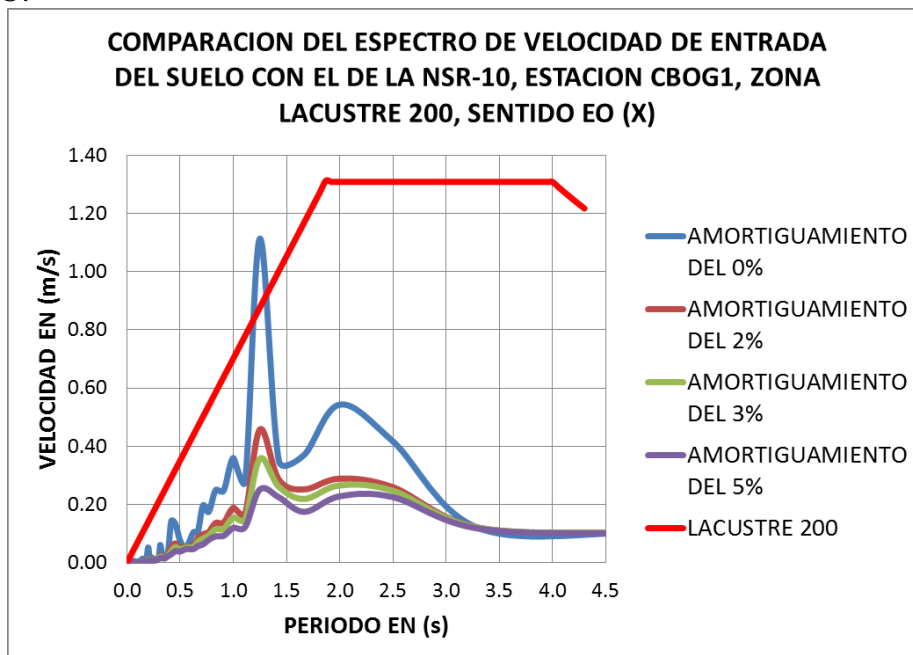


Fuente: Elaboración propia

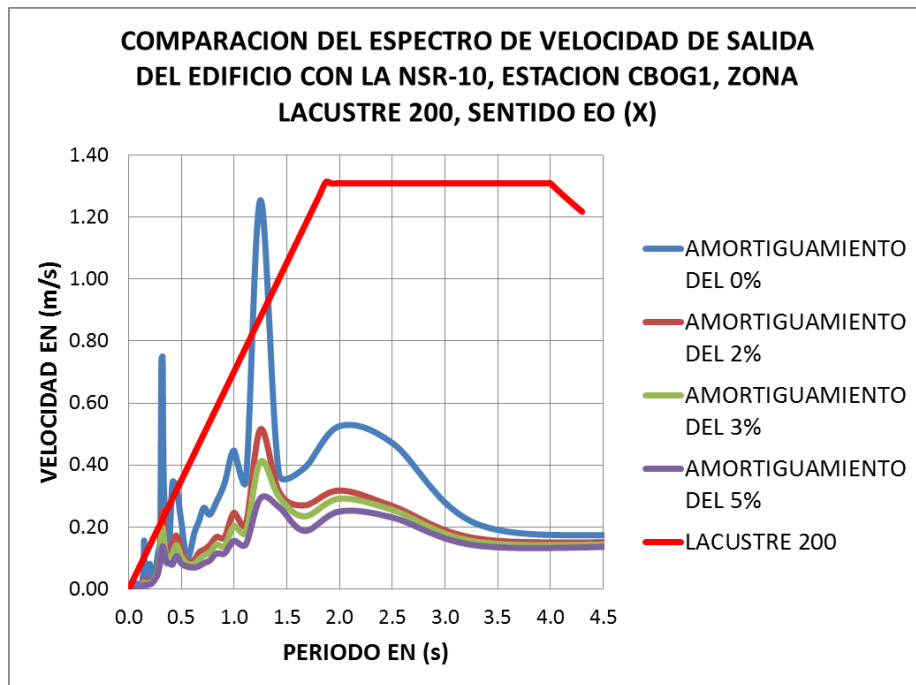


Fuente: Elaboración propia

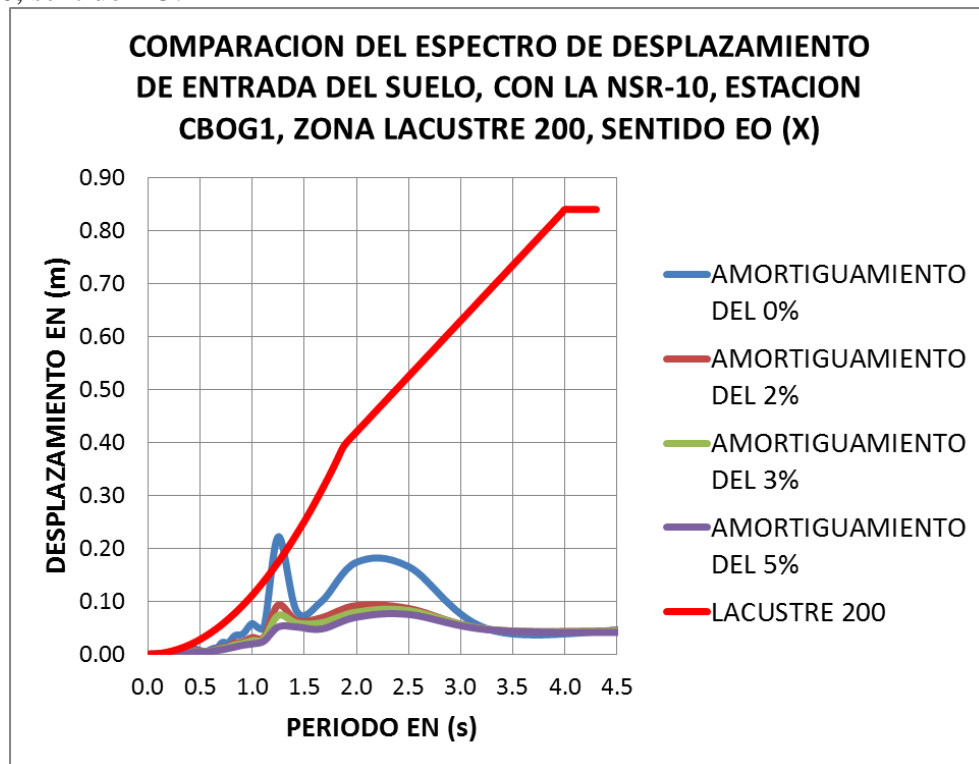
-Espectros de velocidades de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG1 y NSR-10, sentido EO:

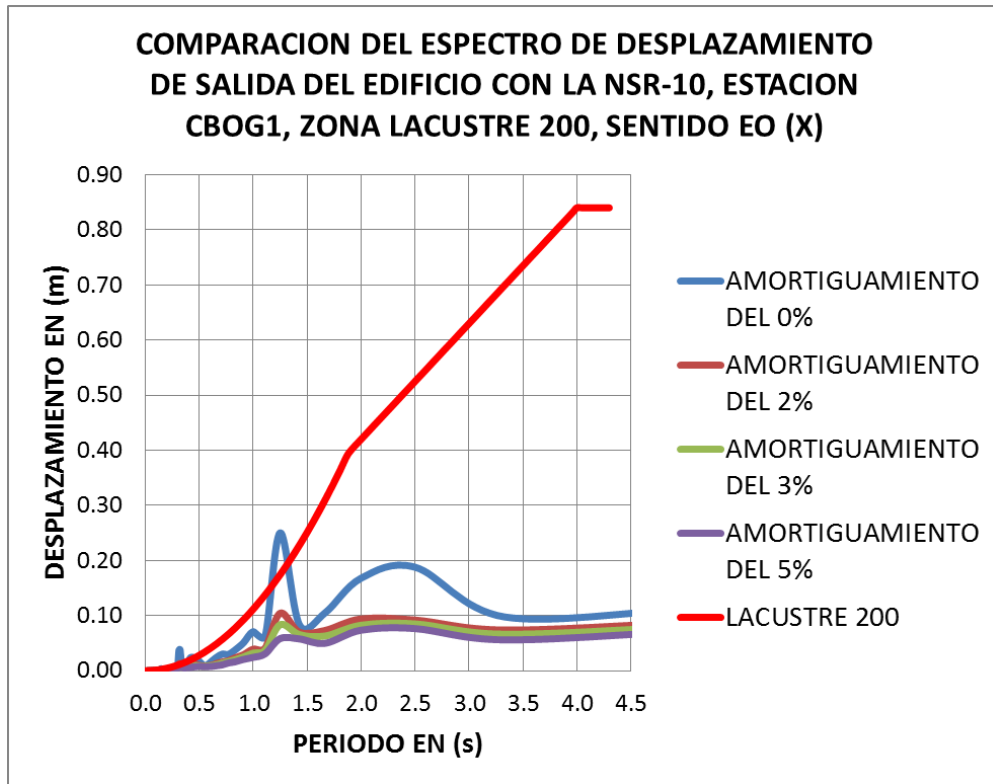


Fuente: Elaboración propia

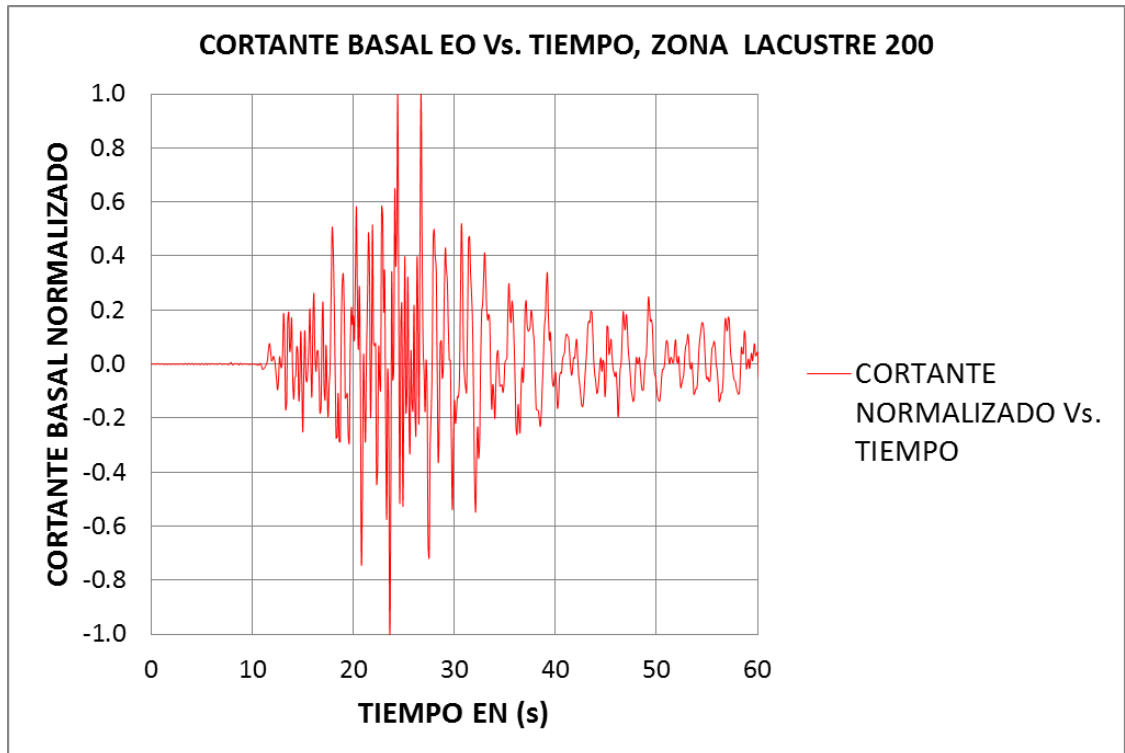


-Espectros de desplazamientos de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG1 y NSR-10, sentido EO:





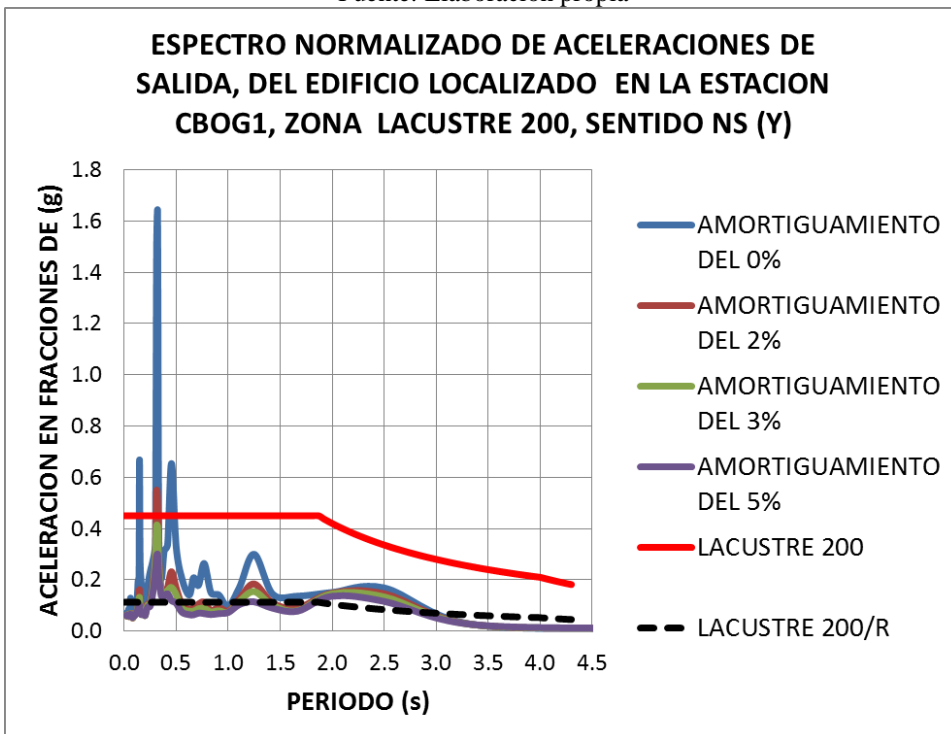
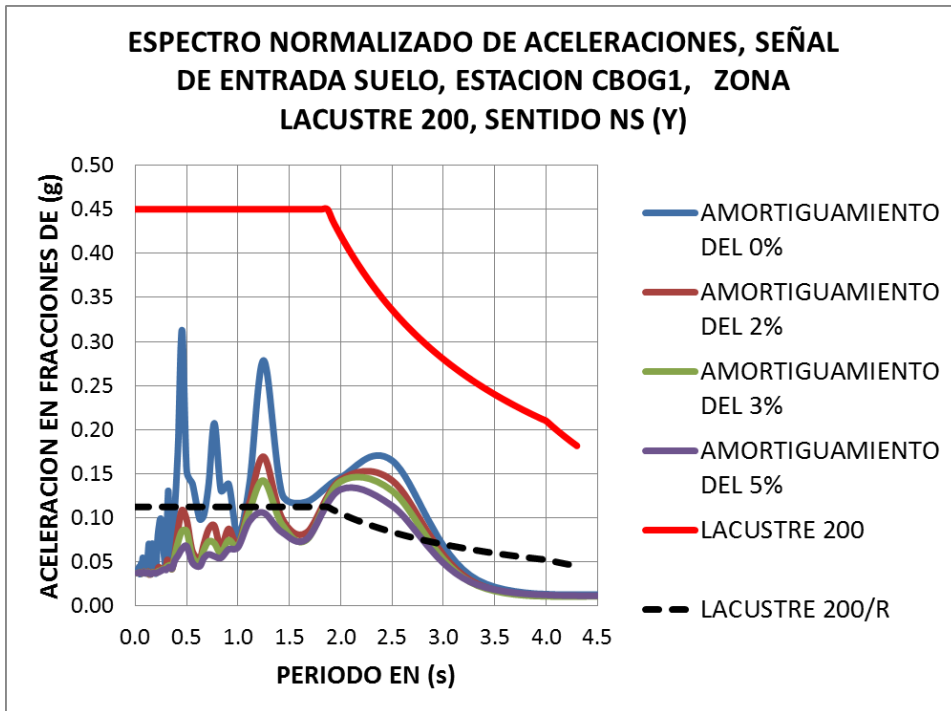
Fuente: Elaboración propia



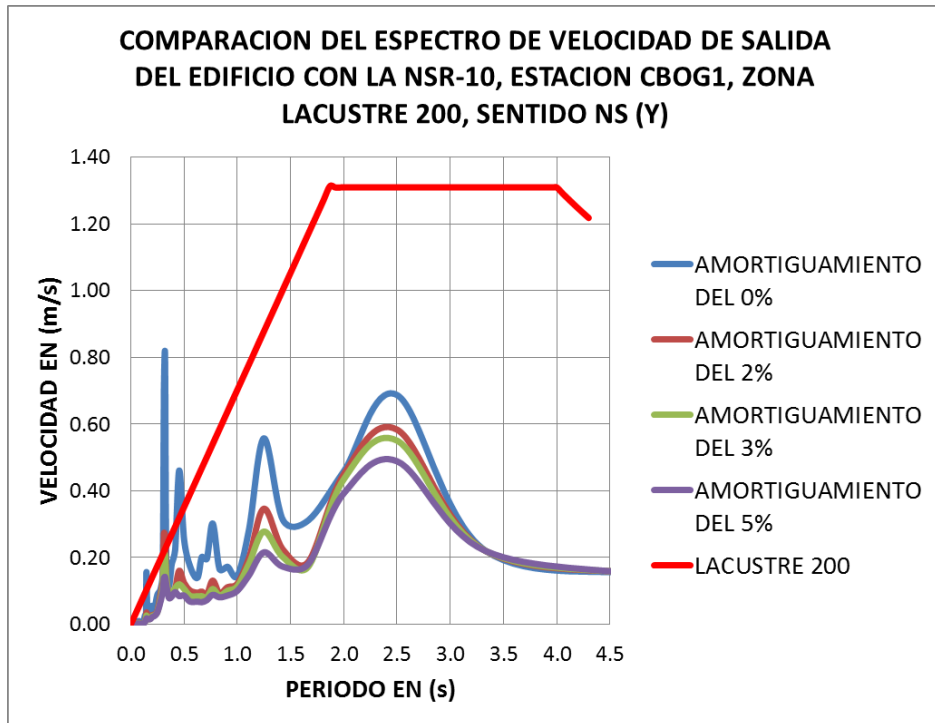
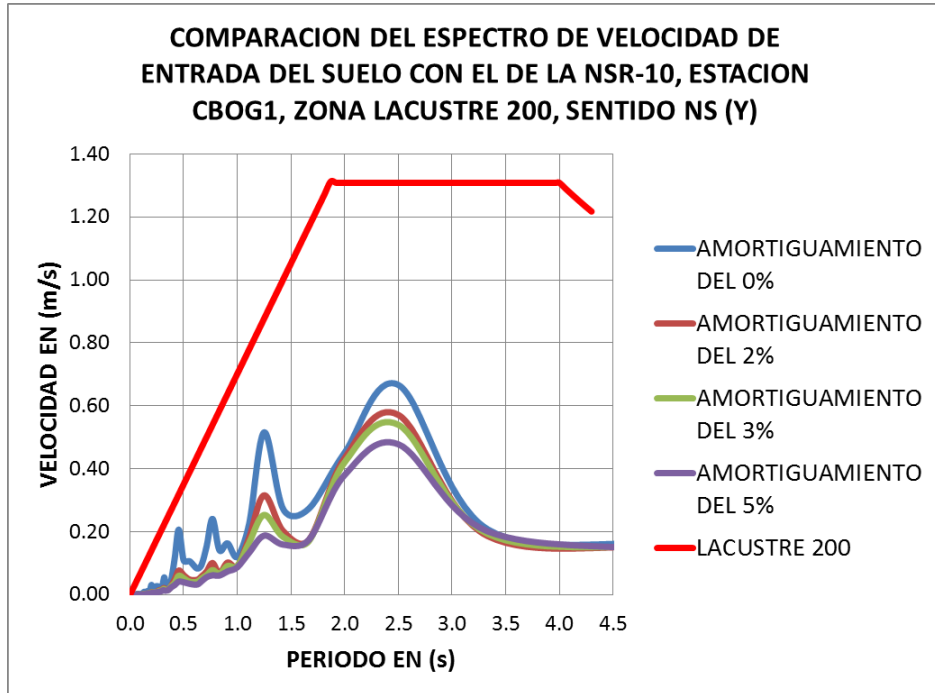
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CBOG1, LACUSTRE 200, SENTIDO NS (Y):

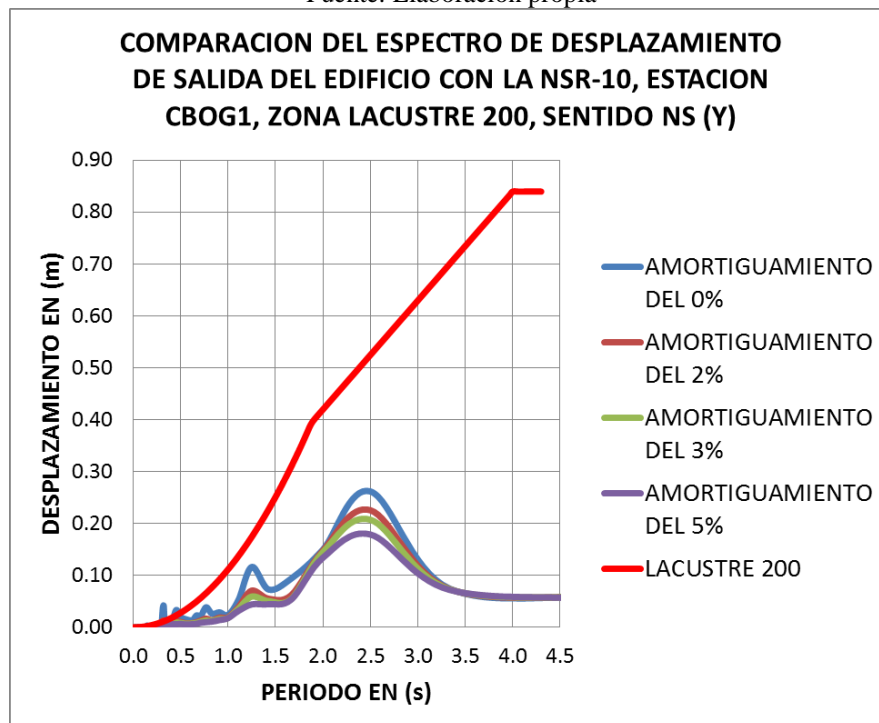
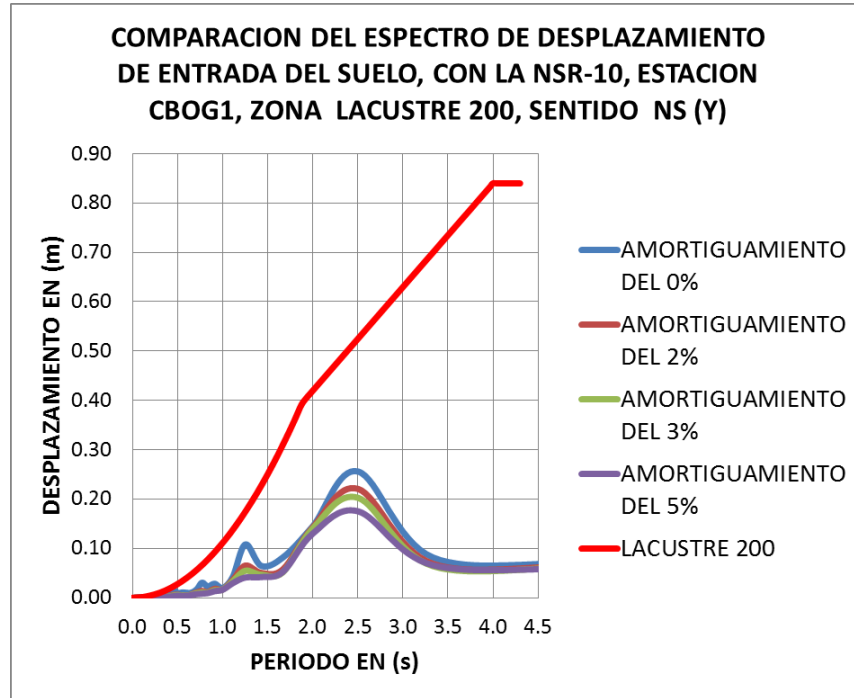
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG1 y NSR-10, sentido EO:

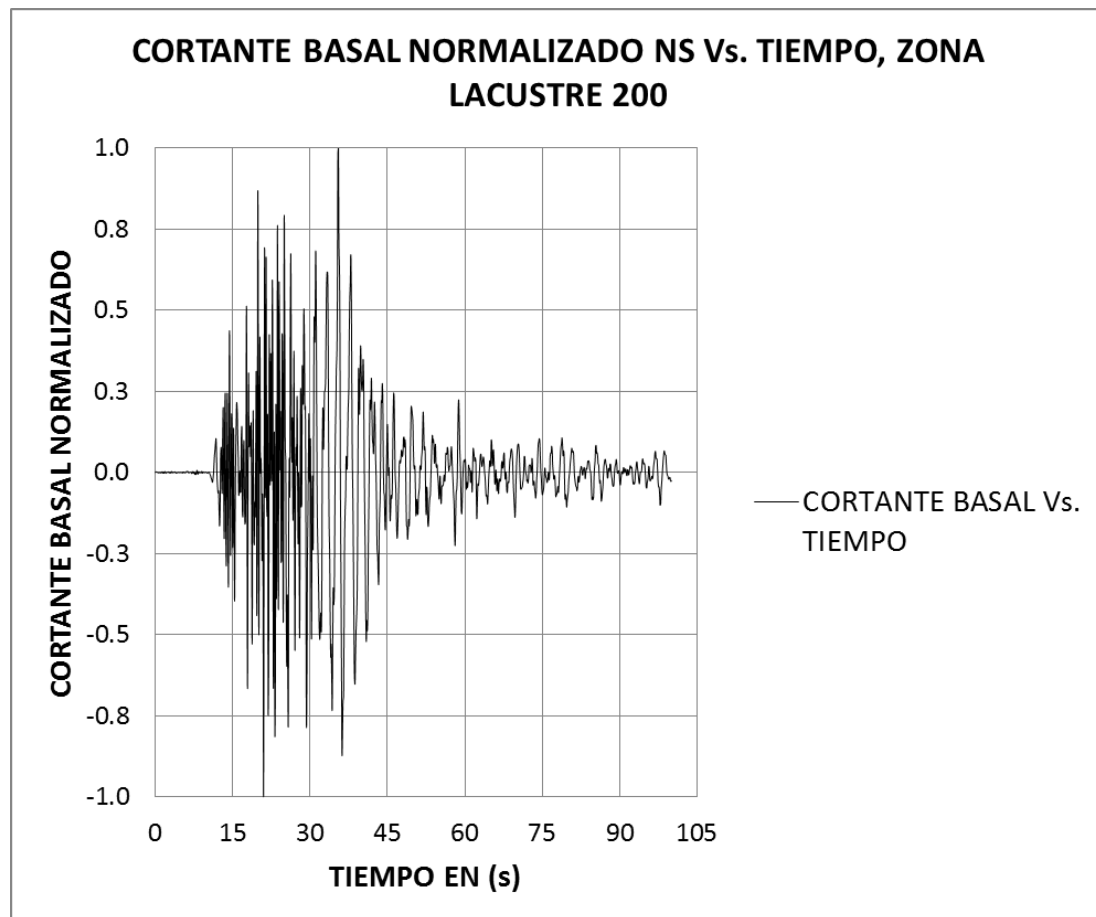


-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG1 y NSR-10, sentido EO:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG1 y NSR-10, sentido EO:



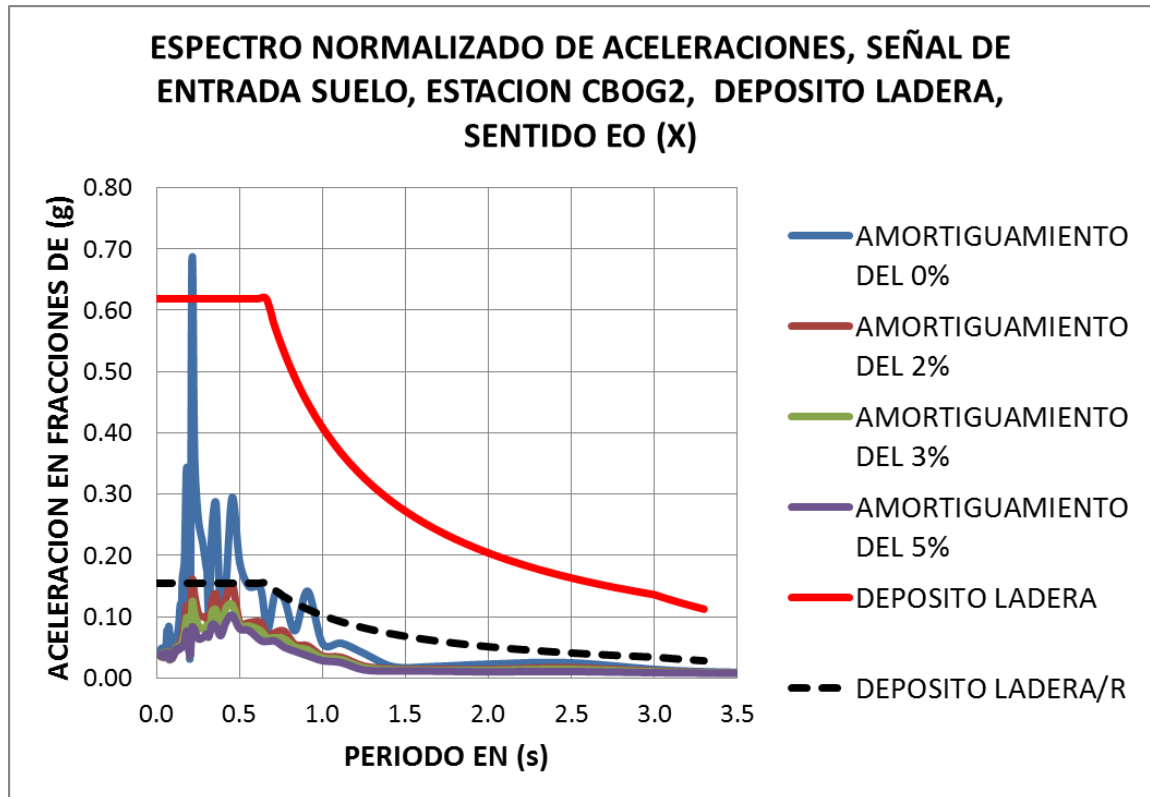


Fuente: Elaboración propia

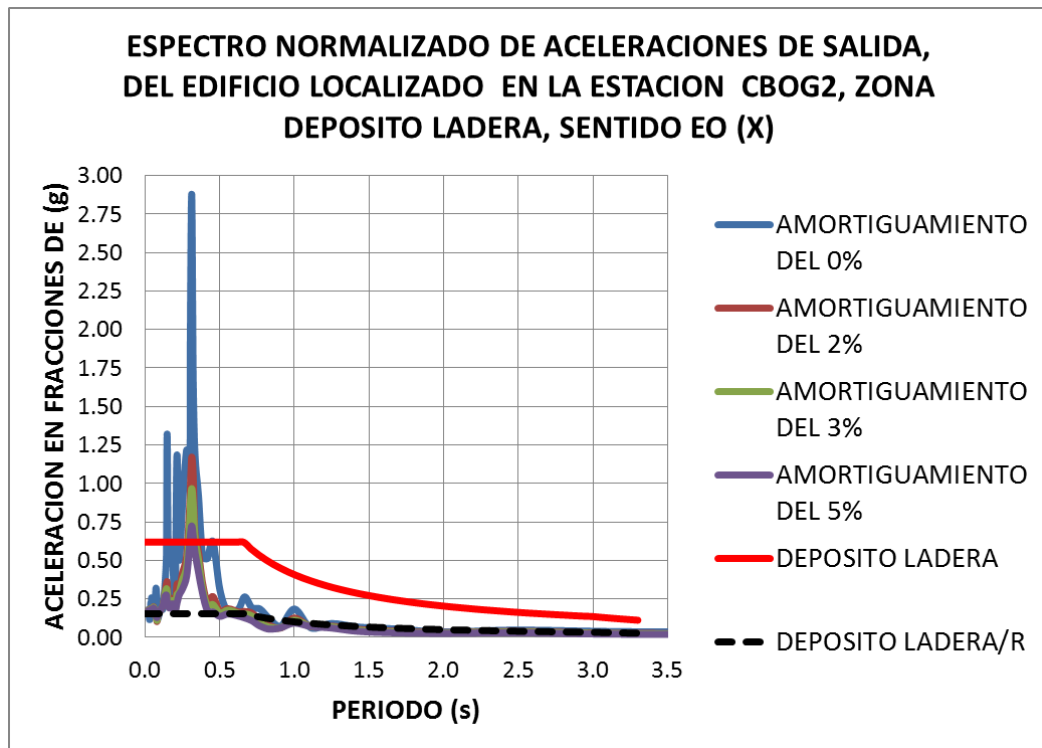
- 5) **Estación GAVIOTAS:** El código en la RAB es CBOG2, ubicada en la coordenada 4.603° de latitud Norte y -74.063° de Longitud Este. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **DEPOSITO LADERA** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CBOG2, DEPOSITO LADERA, SENTIDO EO (X):

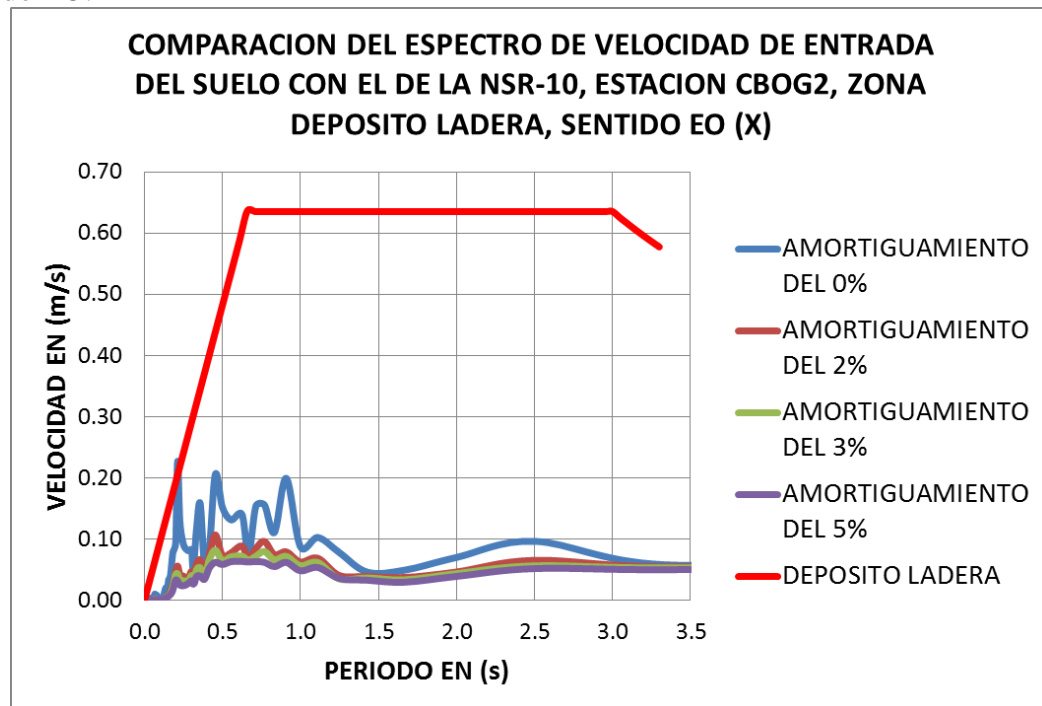
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG2 y NSR-10, sentido EO:

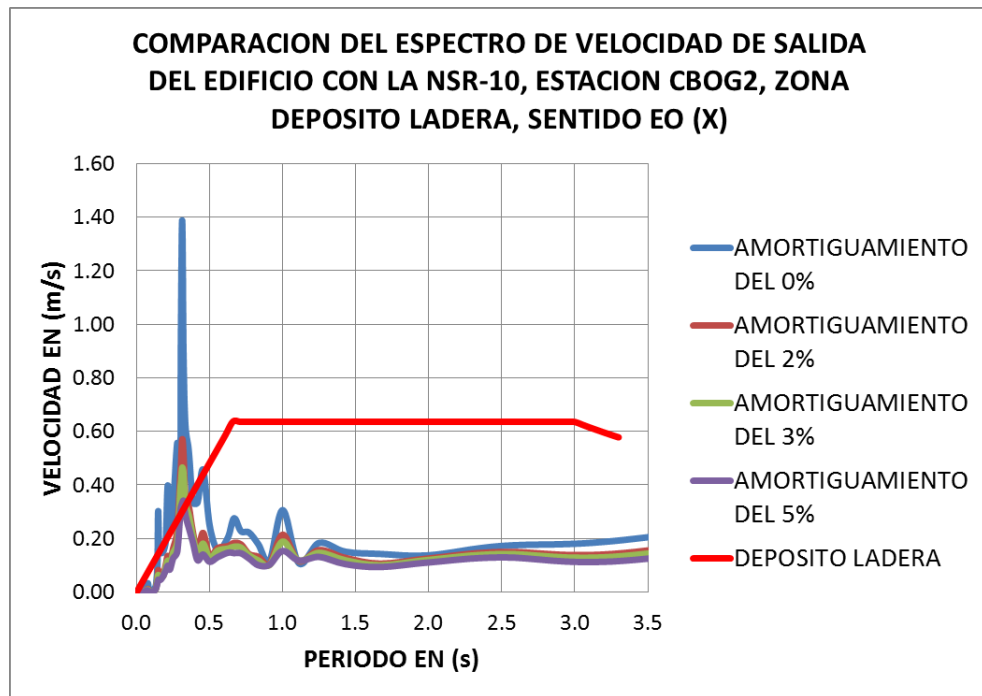


Fuente: Elaboración propia

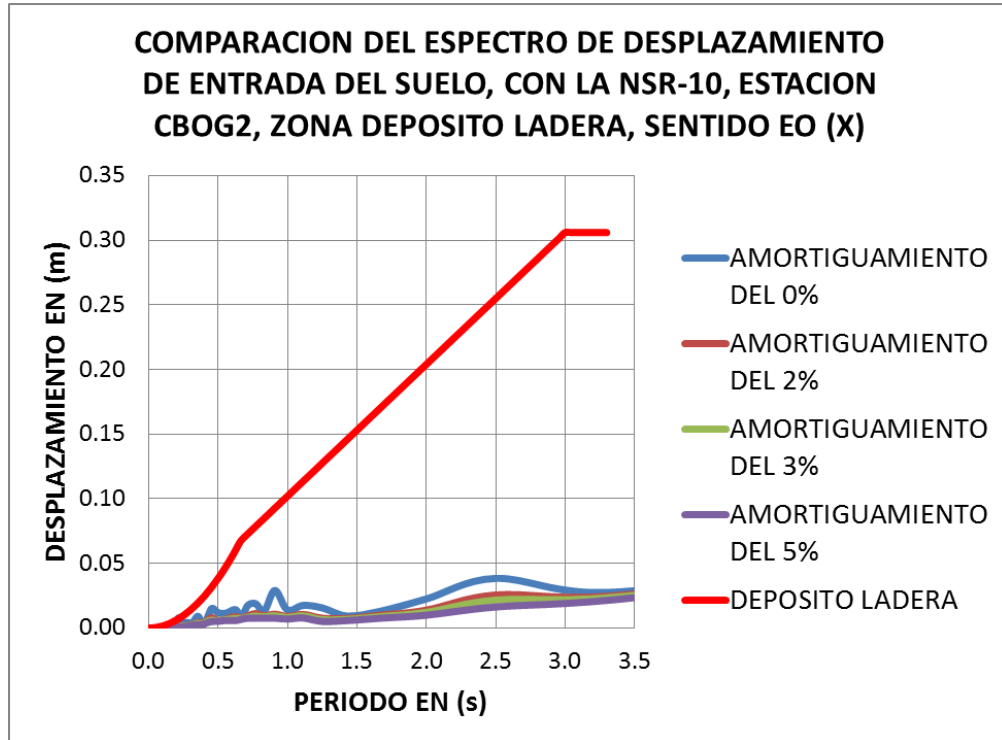


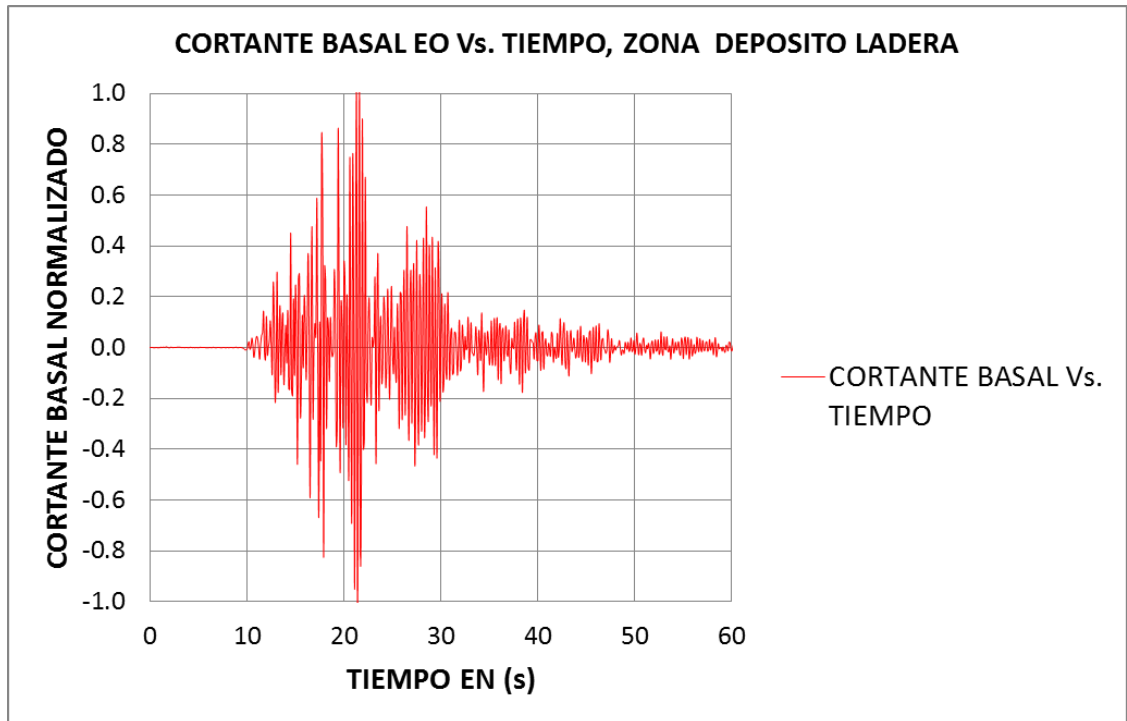
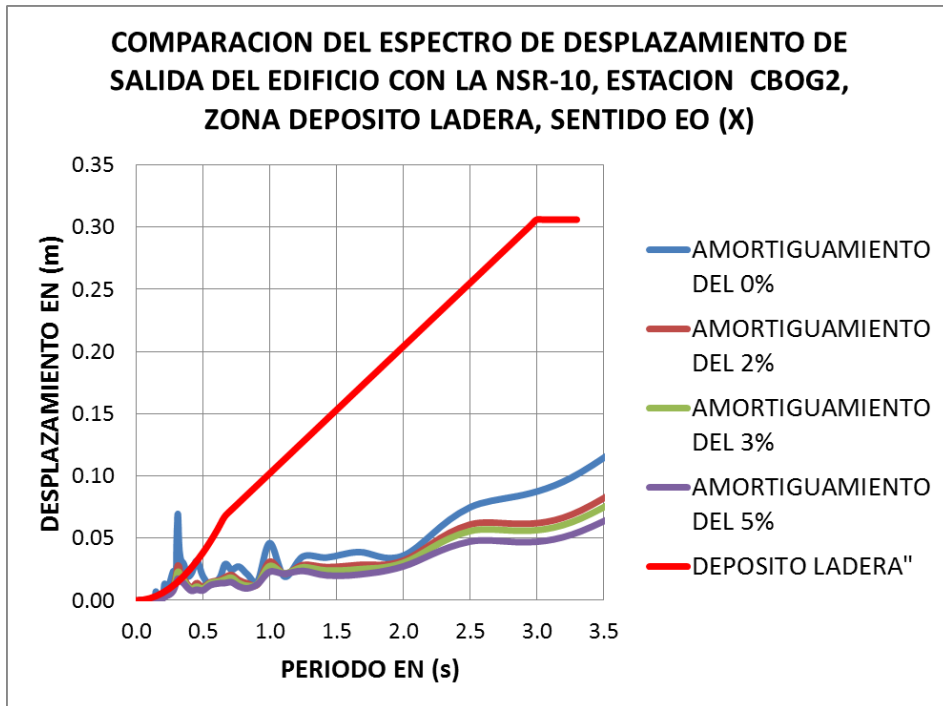
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG2 y NSR-10, sentido EO:





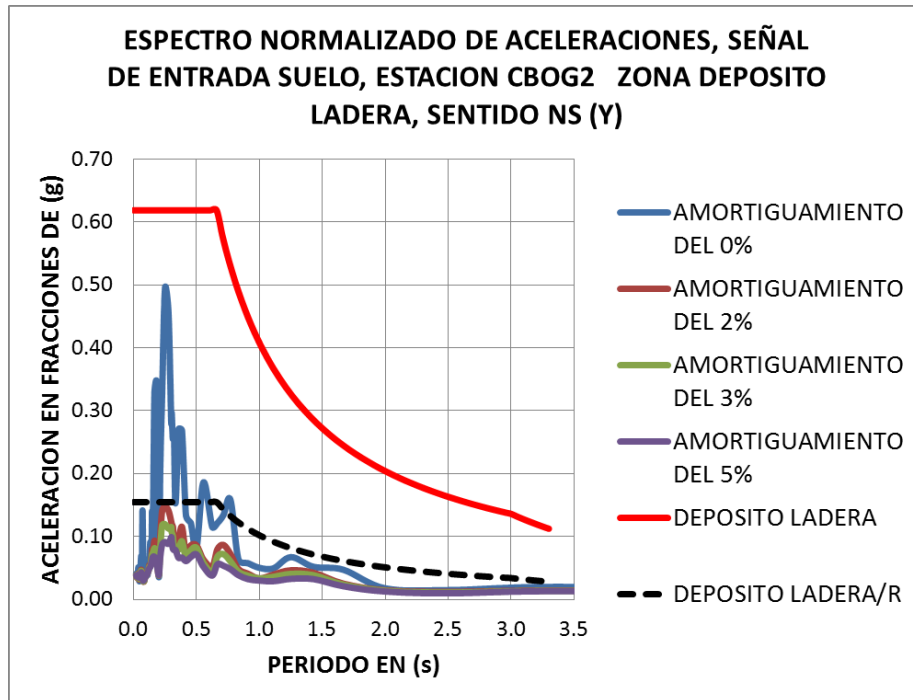
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG2 y NSR-10, sentido EO:



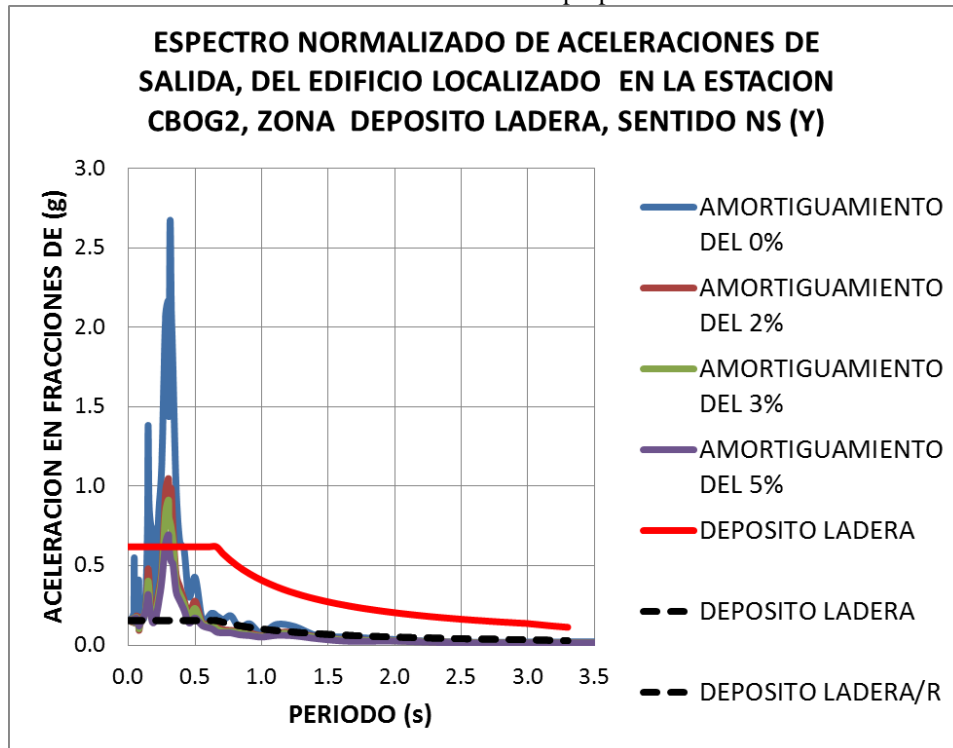


ESTACION CBOG2, DEPOSITO LADERA, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG2 y NSR-10, sentido NS:

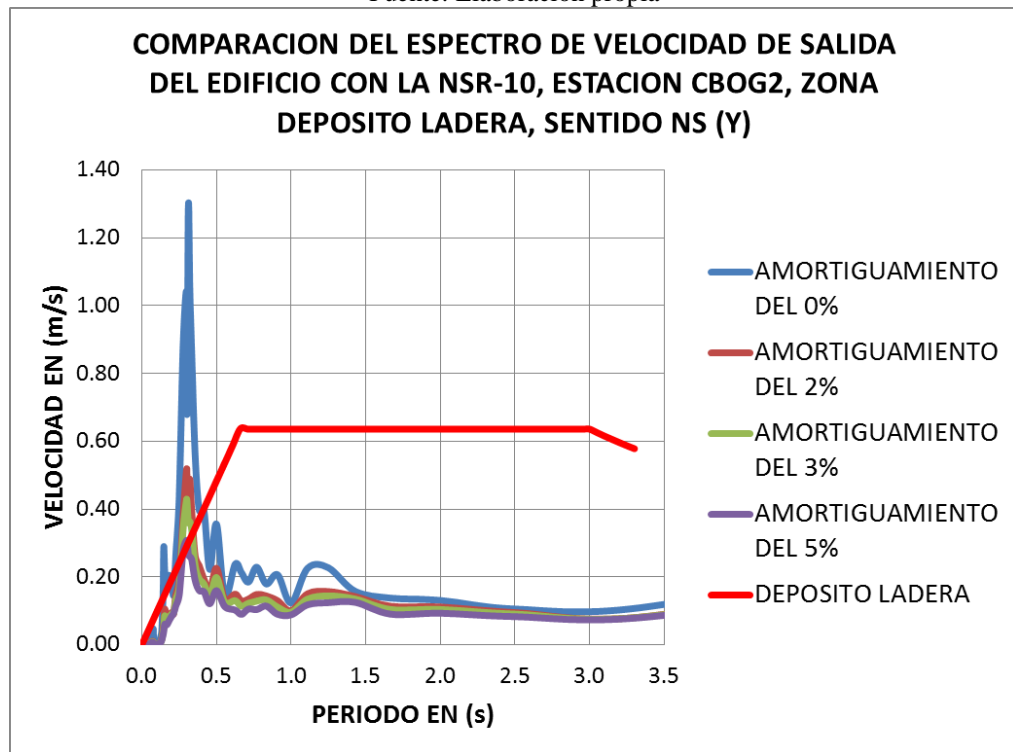
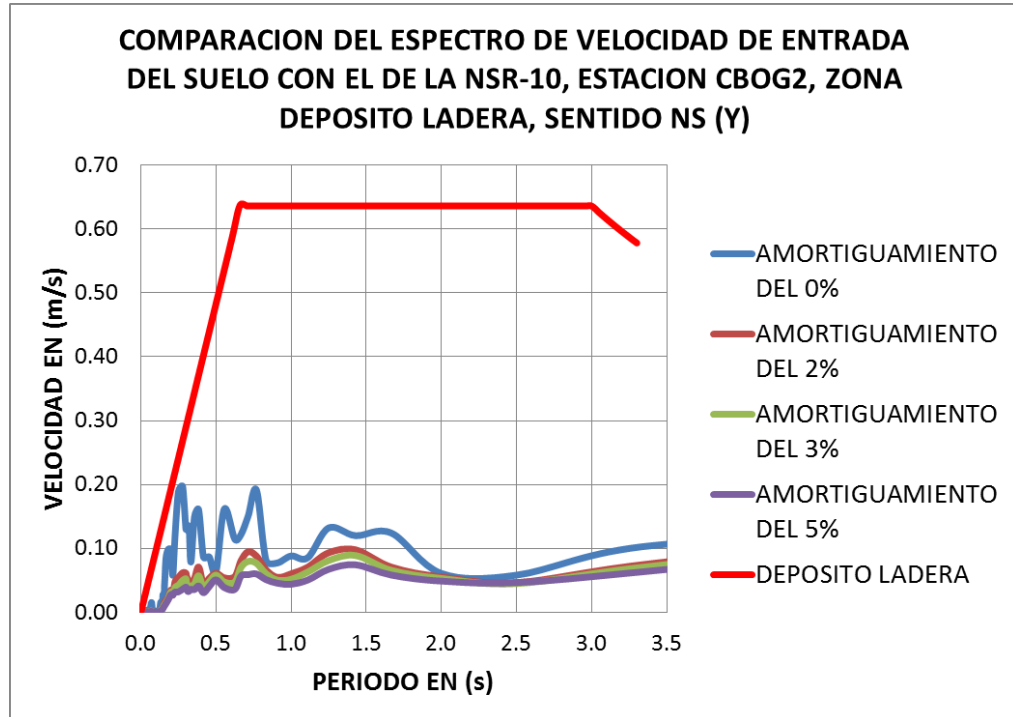


Fuente: Elaboración propia

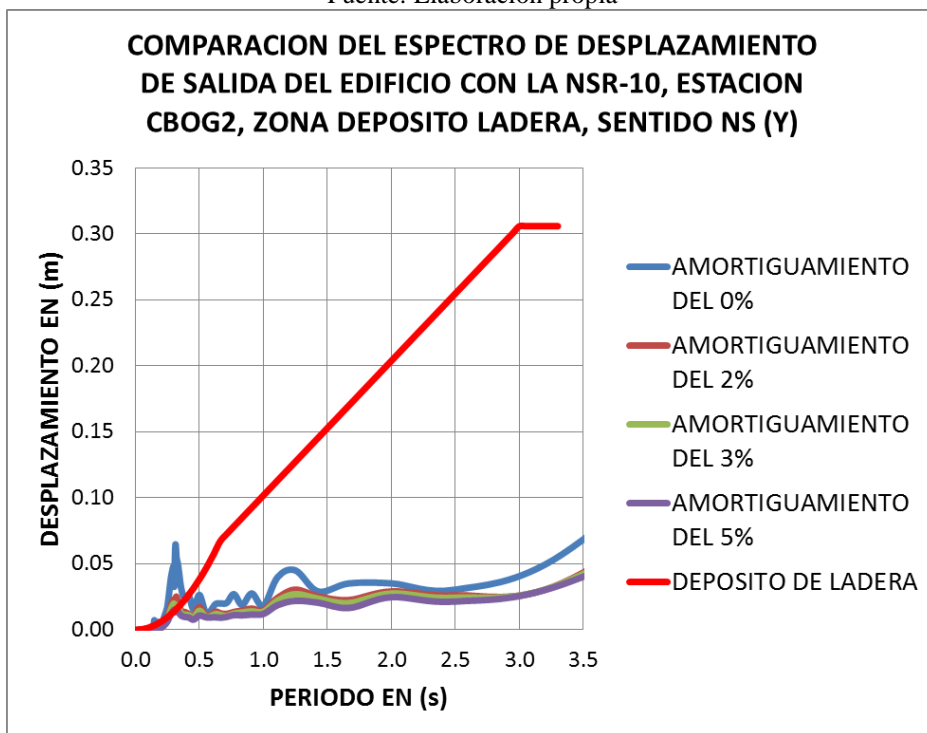
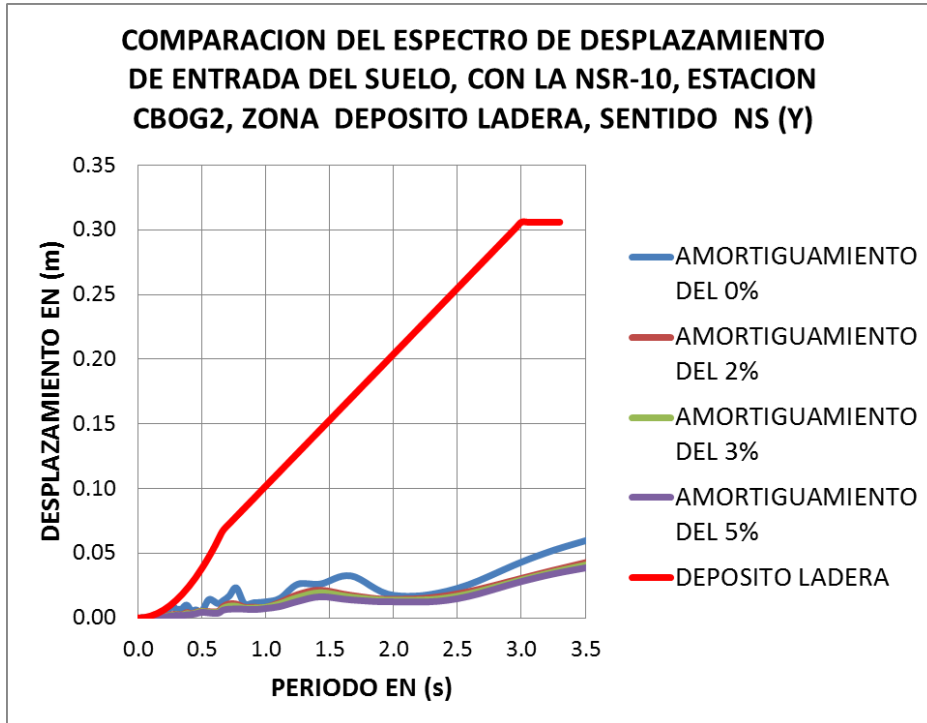


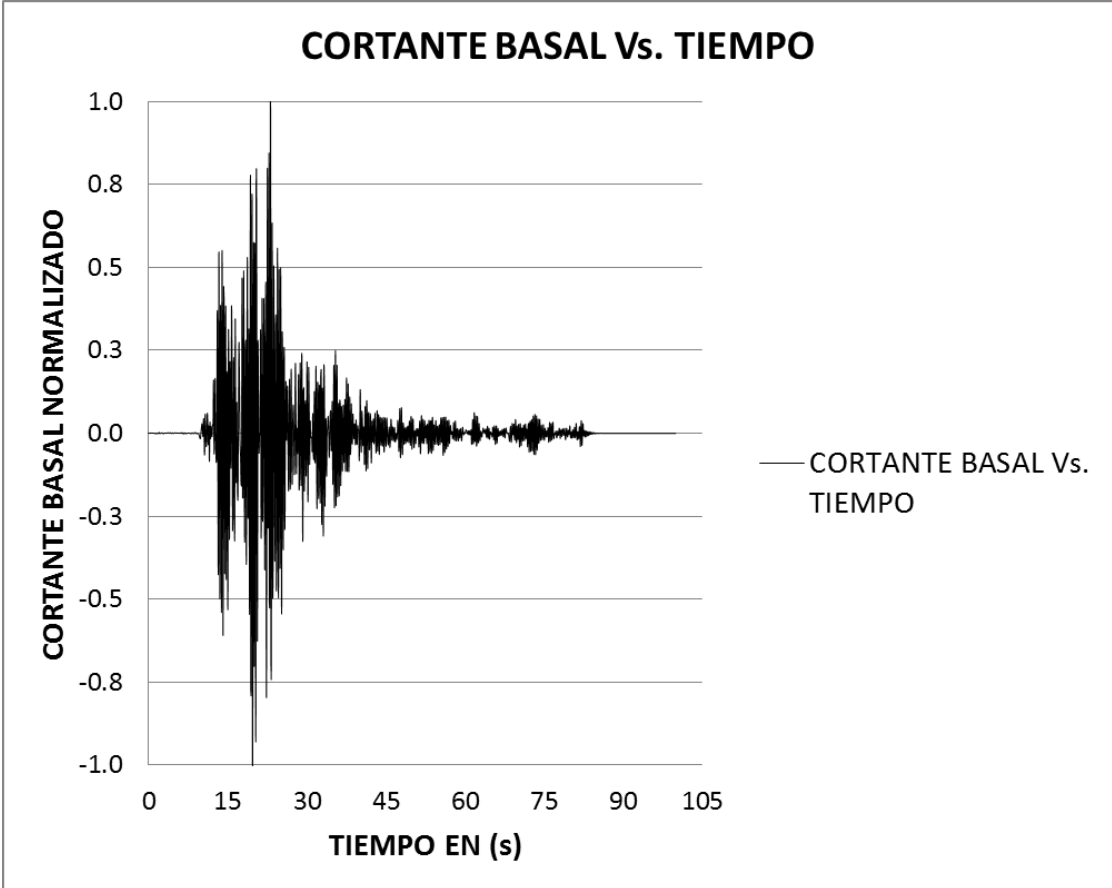
Fuente: Elaboración propia

-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG2 y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CBOG2 y NSR-10, sentido NS:



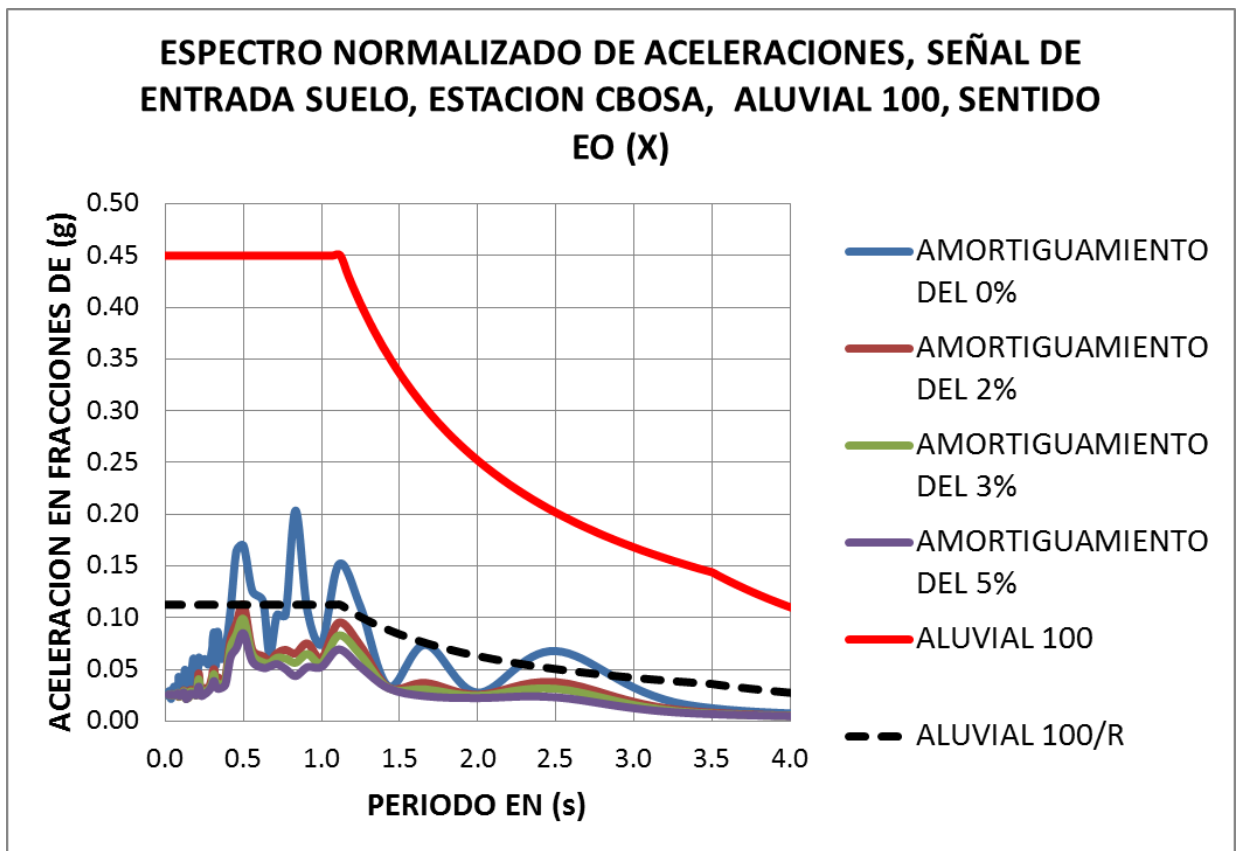


Fuente: Elaboración propia

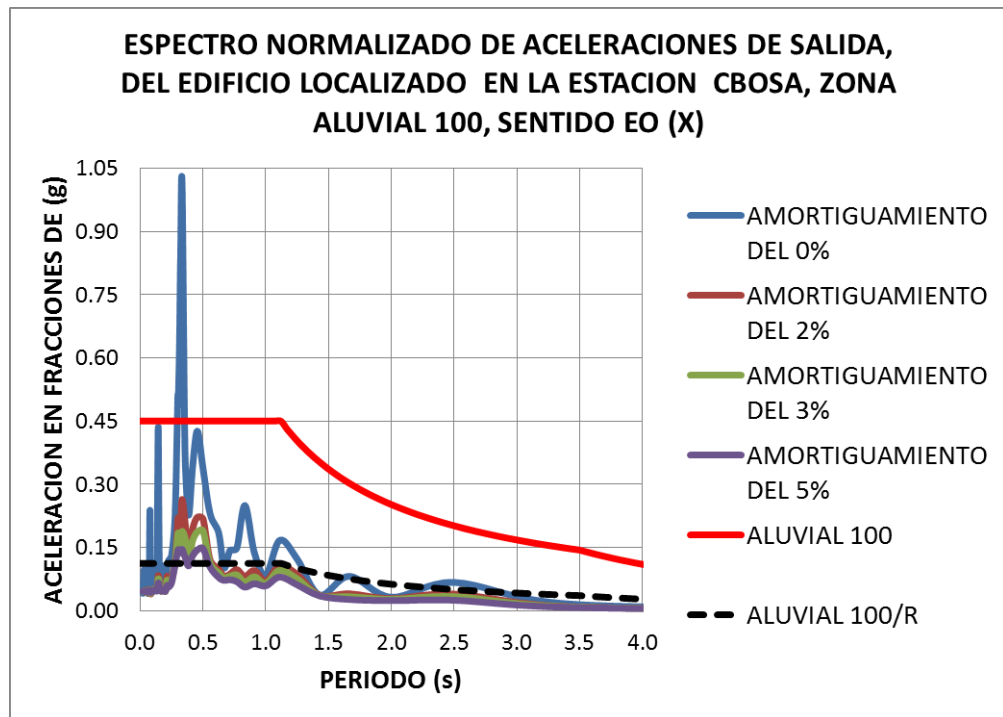
- 6) **Estación Colegio Fernando Mazuera:** El código en la RAB es CBOSA, ubicada en la Calle 68 A Sur # 87D-09. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **ALUVIAL 100** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CBOSA, ALUVIAL 100, SENTIDO EO (X):

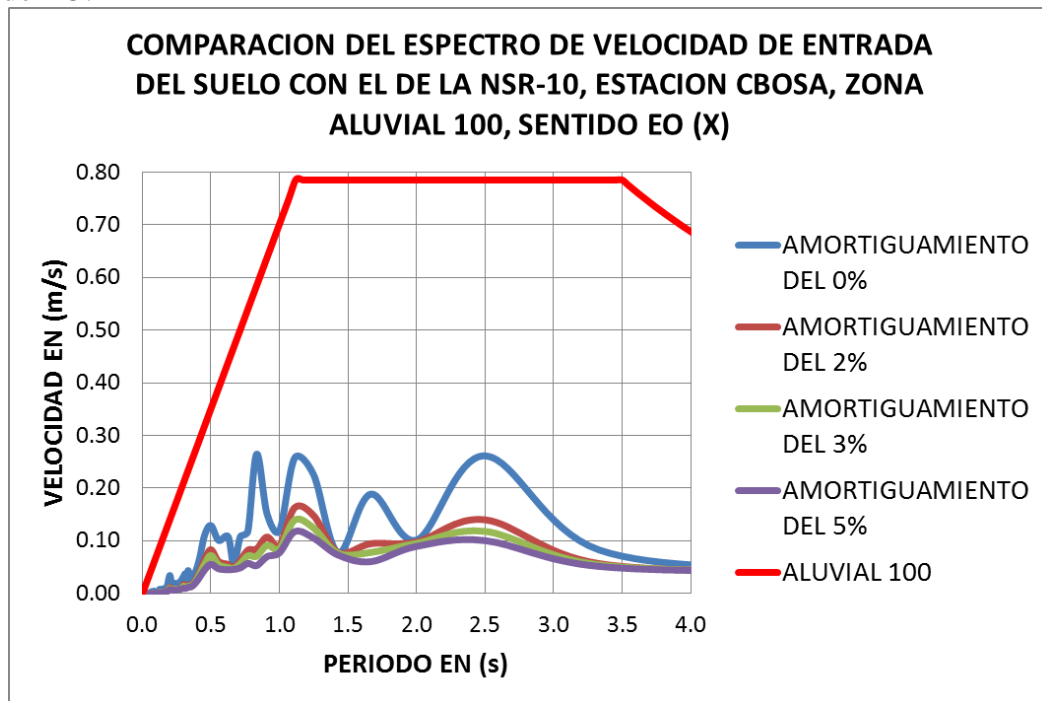
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBOSA y NSR-10, sentido EO:

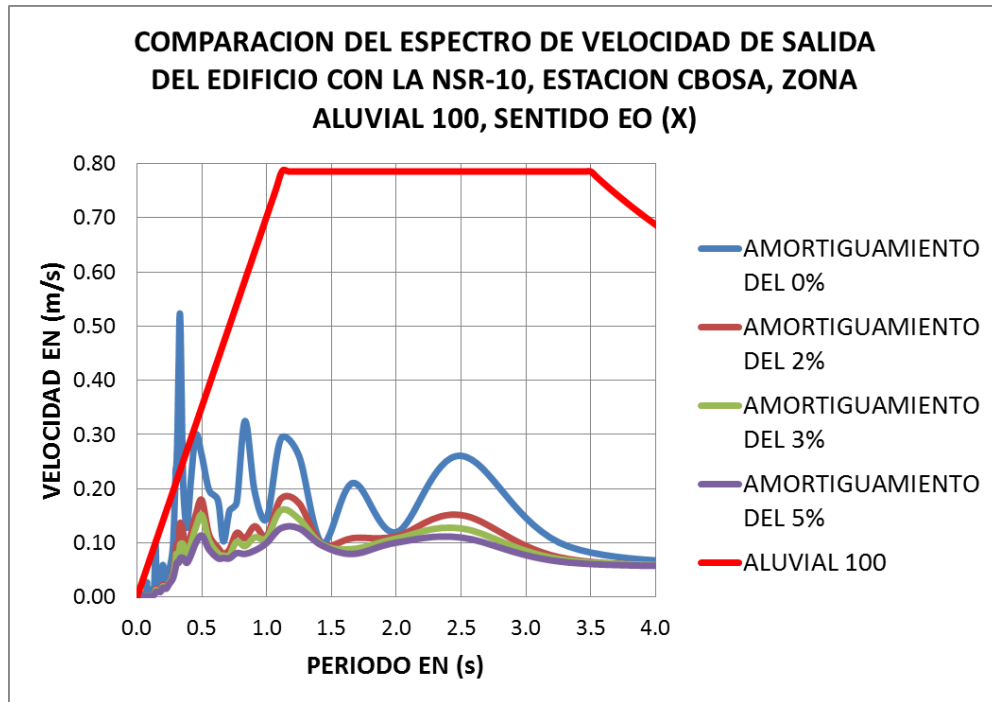


Fuente: Elaboración propia

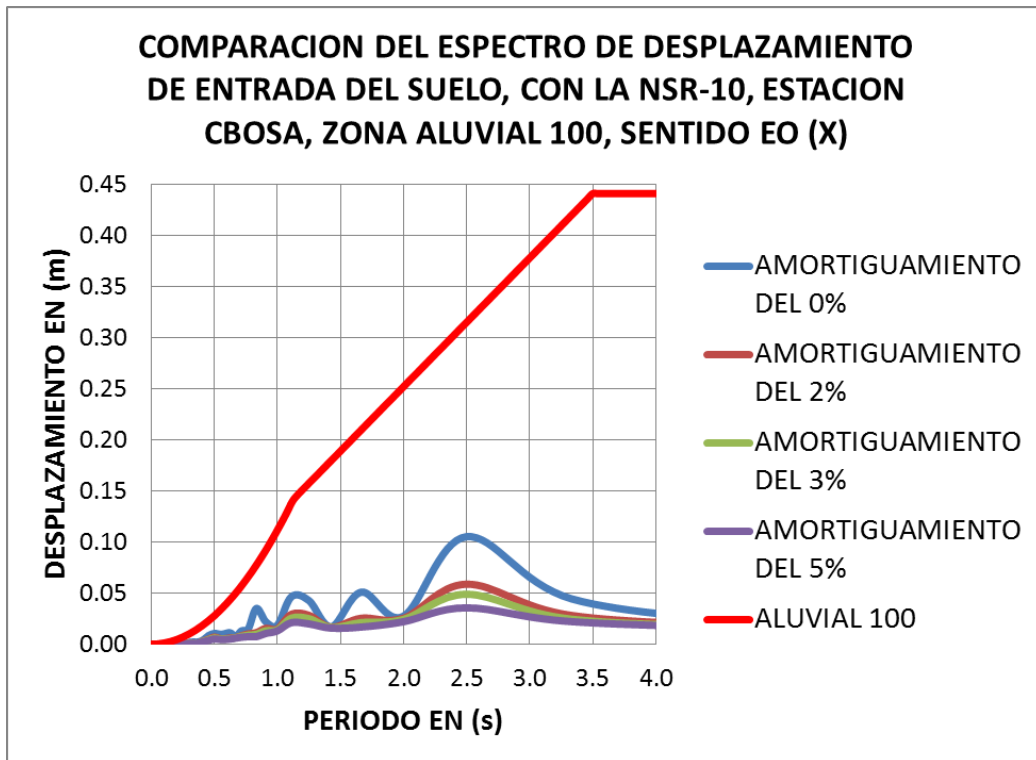


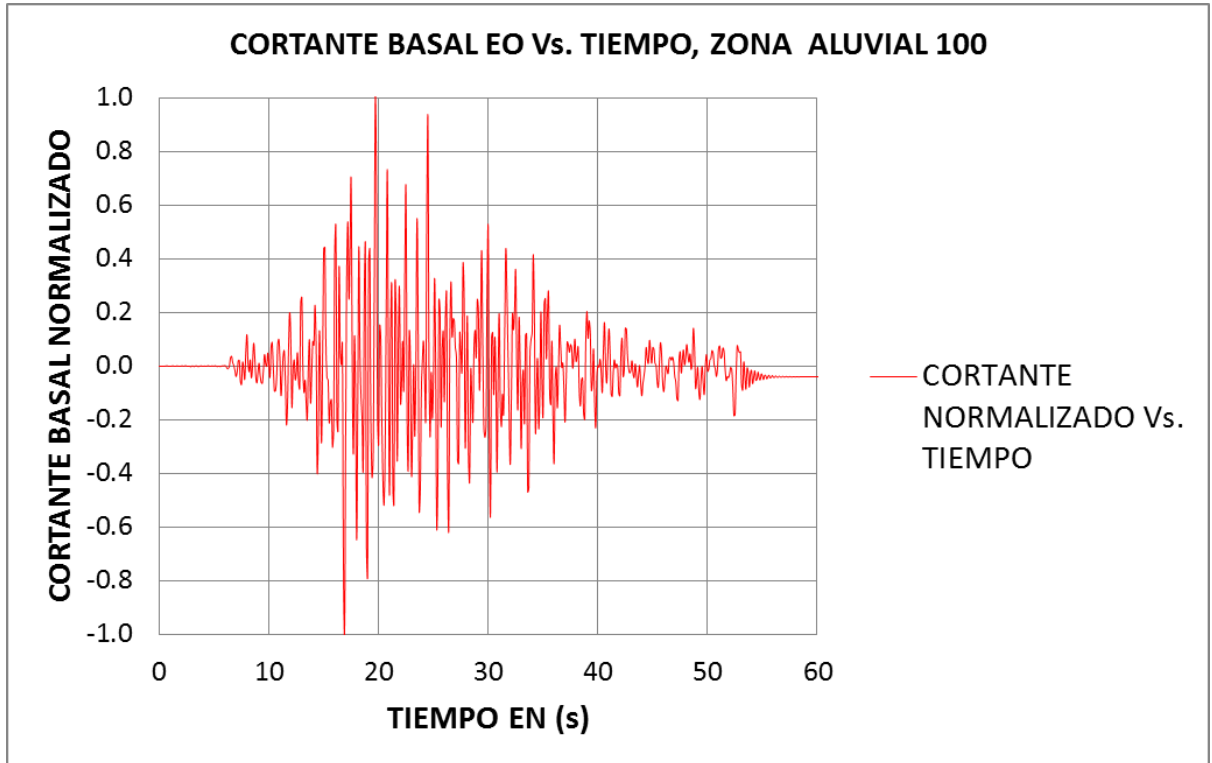
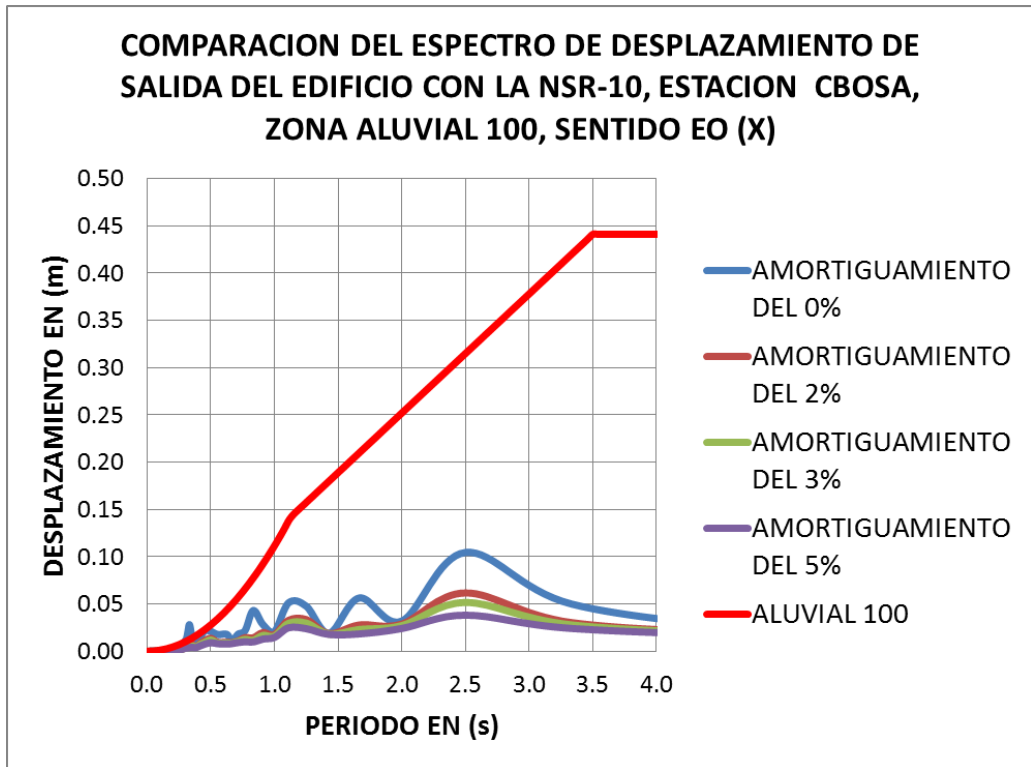
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CBOSA y NSR-10, sentido EO:





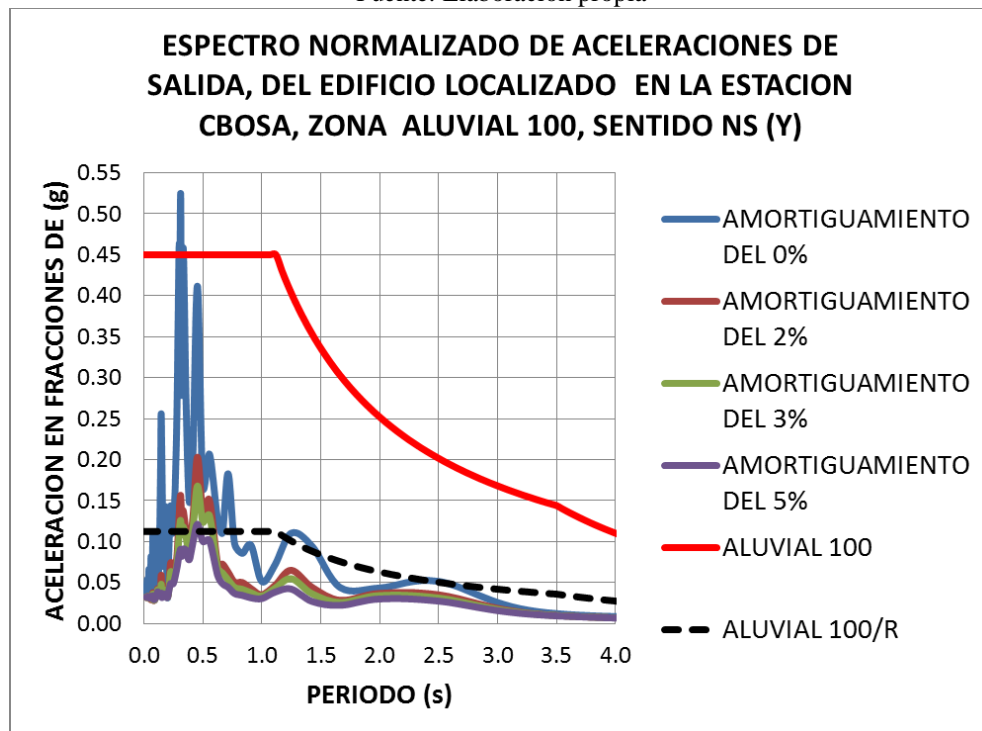
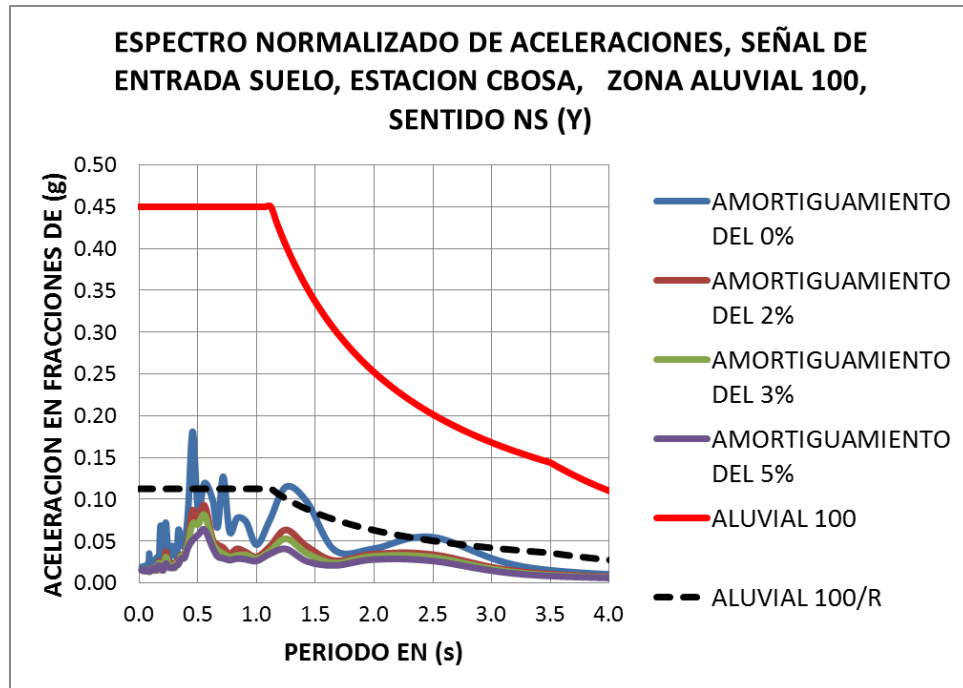
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CBOSA y NSR-10, sentido EO:



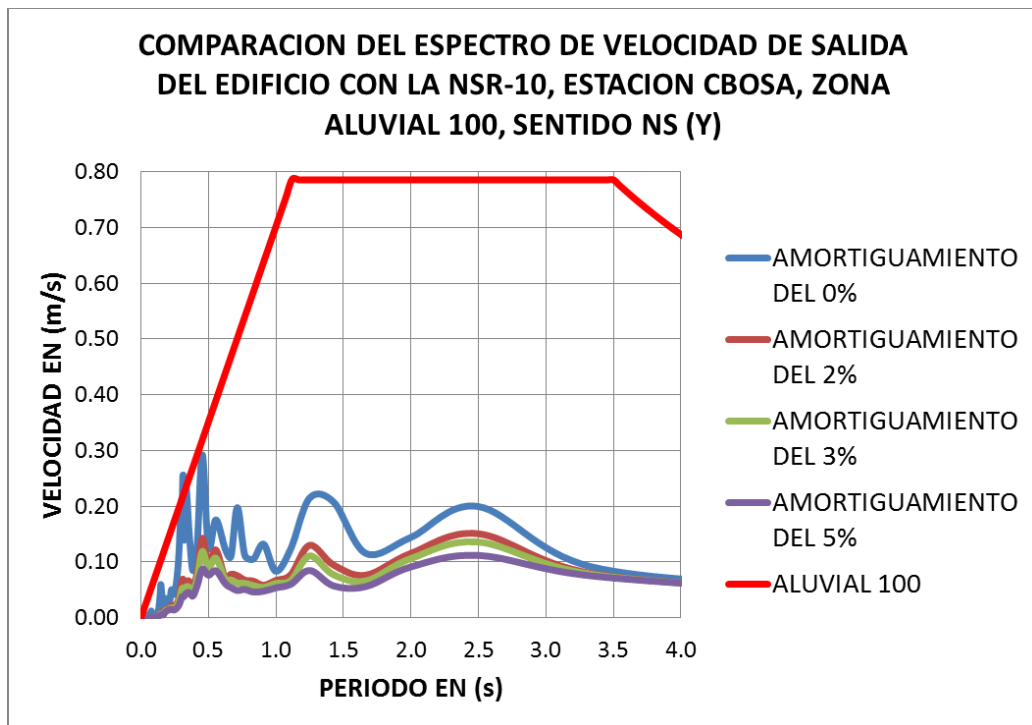
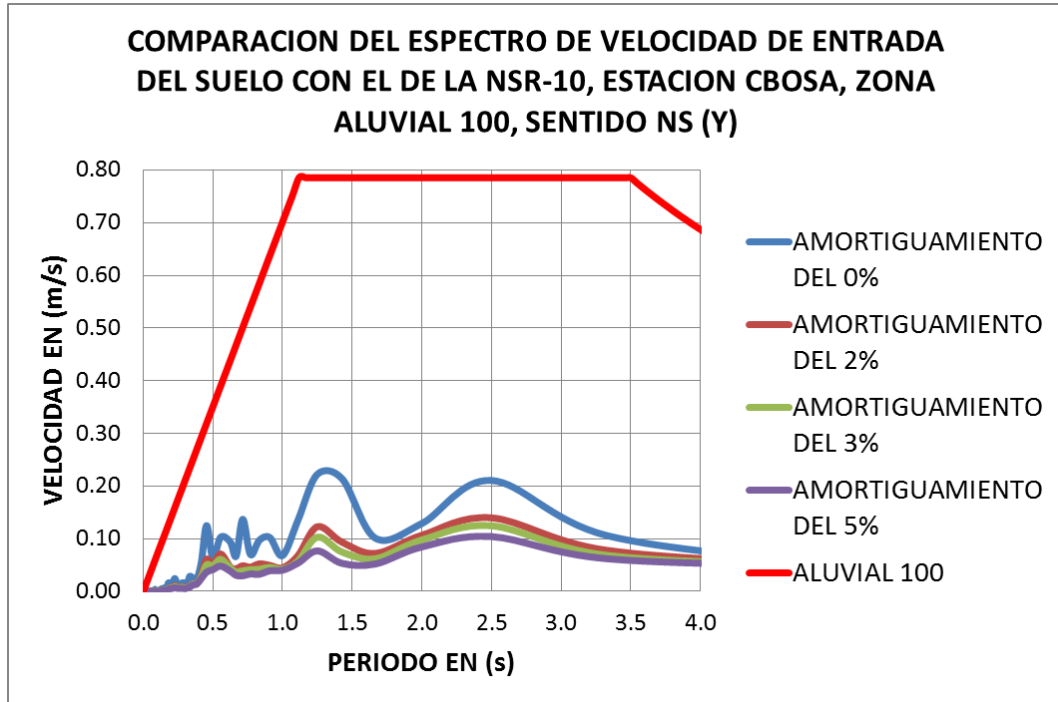


ESTACION CBOSA, ALUVIAL 100, SENTIDO NS (Y):

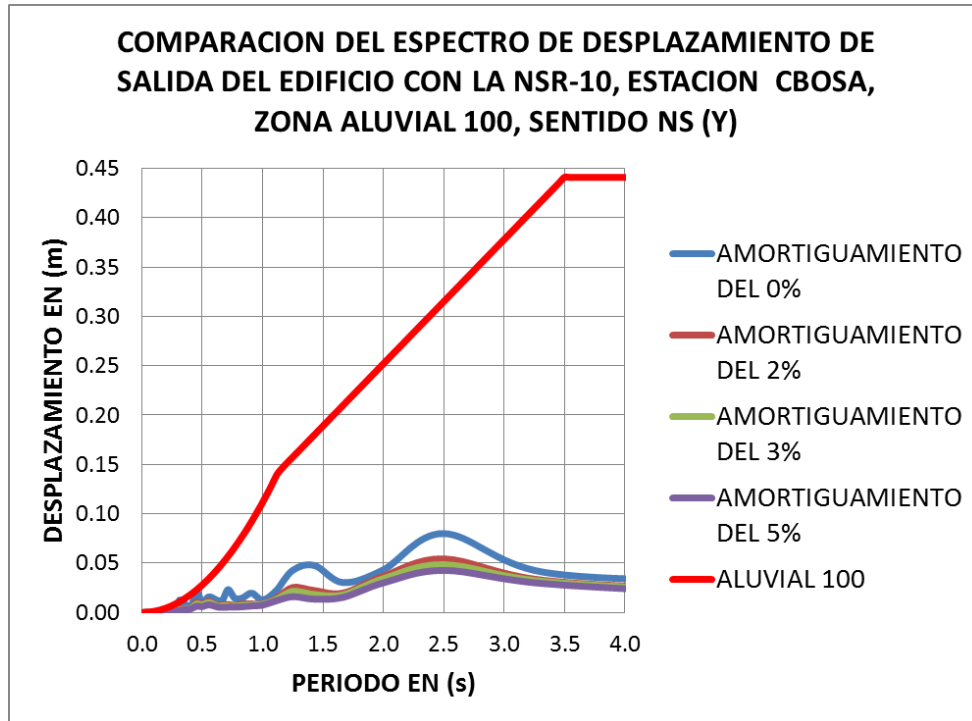
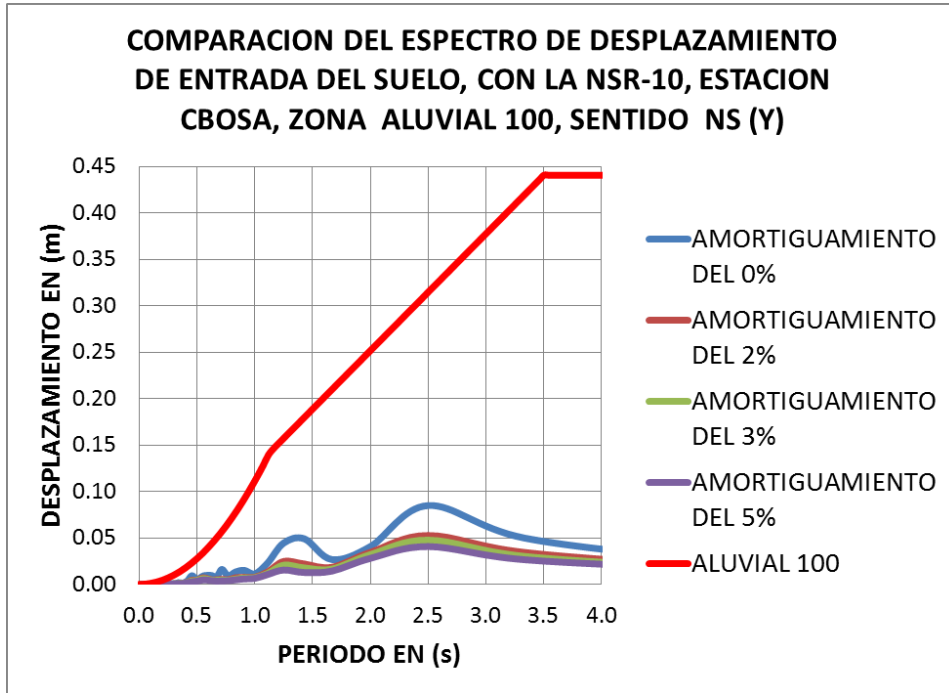
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CBOSA y NSR-10, sentido NS:



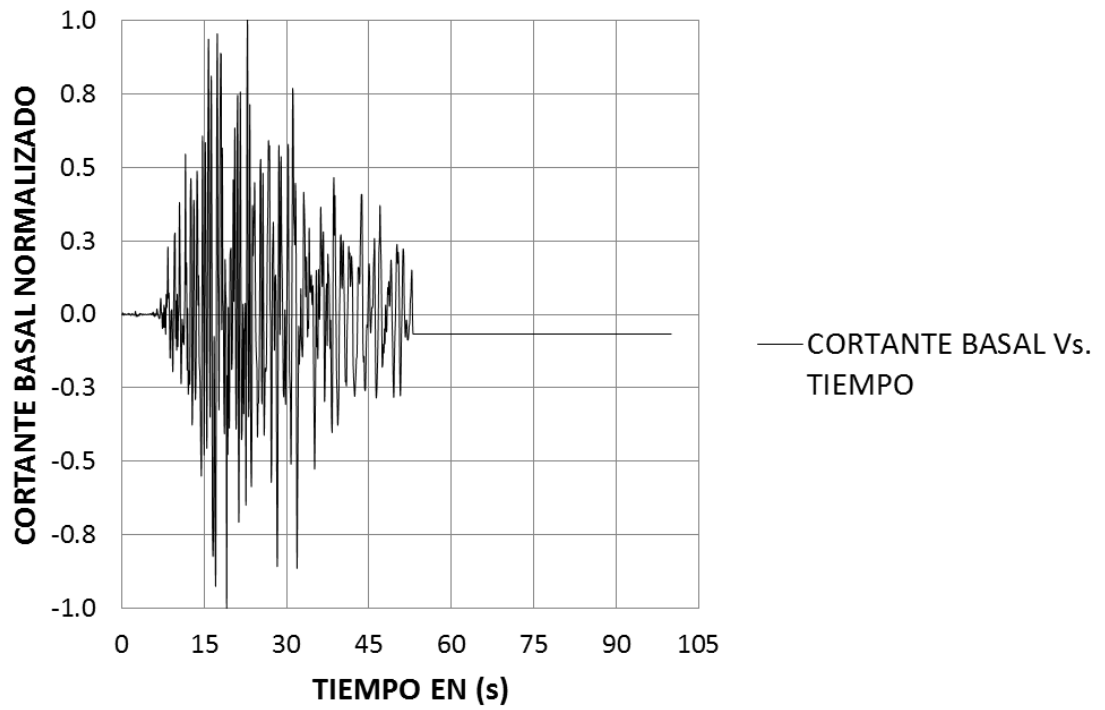
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CBOSA y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento entrada suelo y salida edificio, estación CBOSA y NSR-10, sentido NS:



CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA ALUVIAL 100

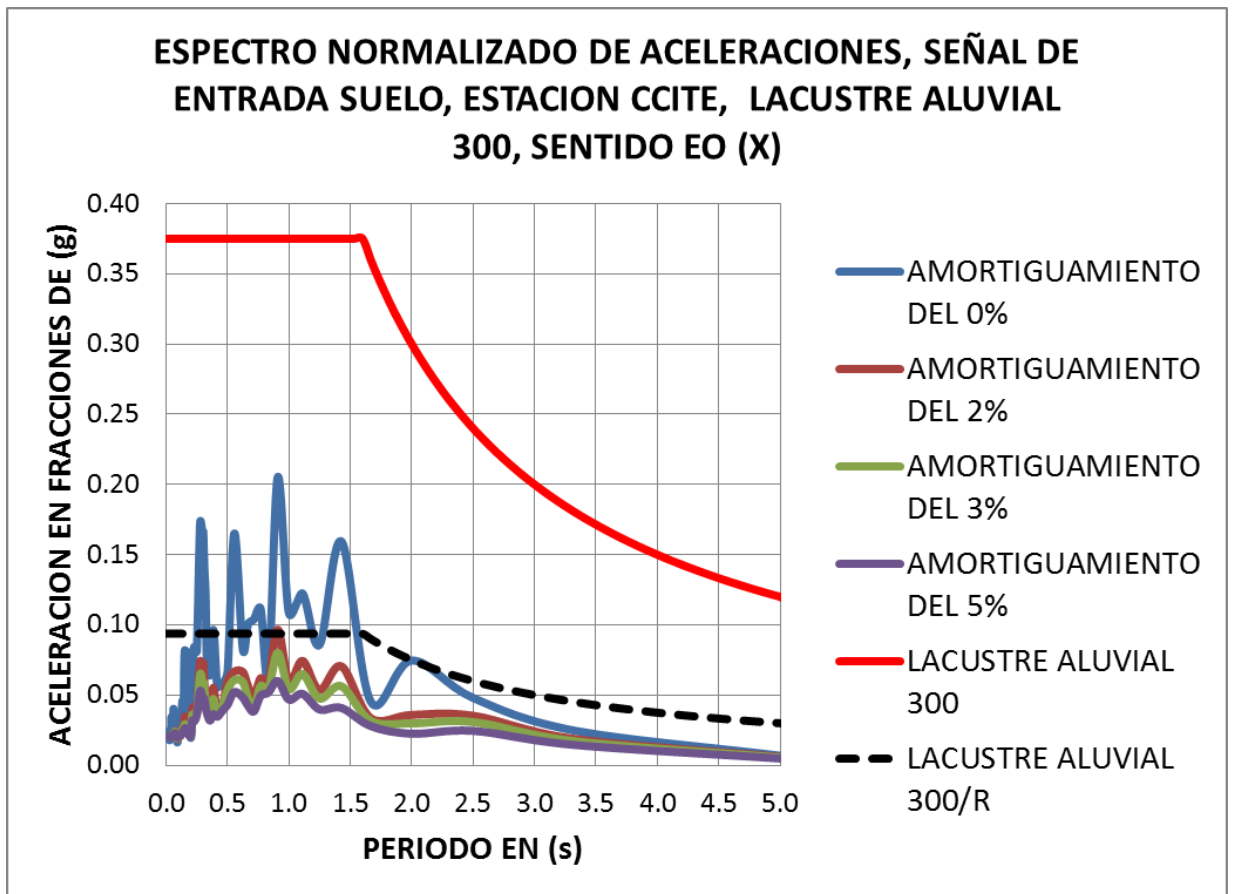


Fuente: Elaboración propia

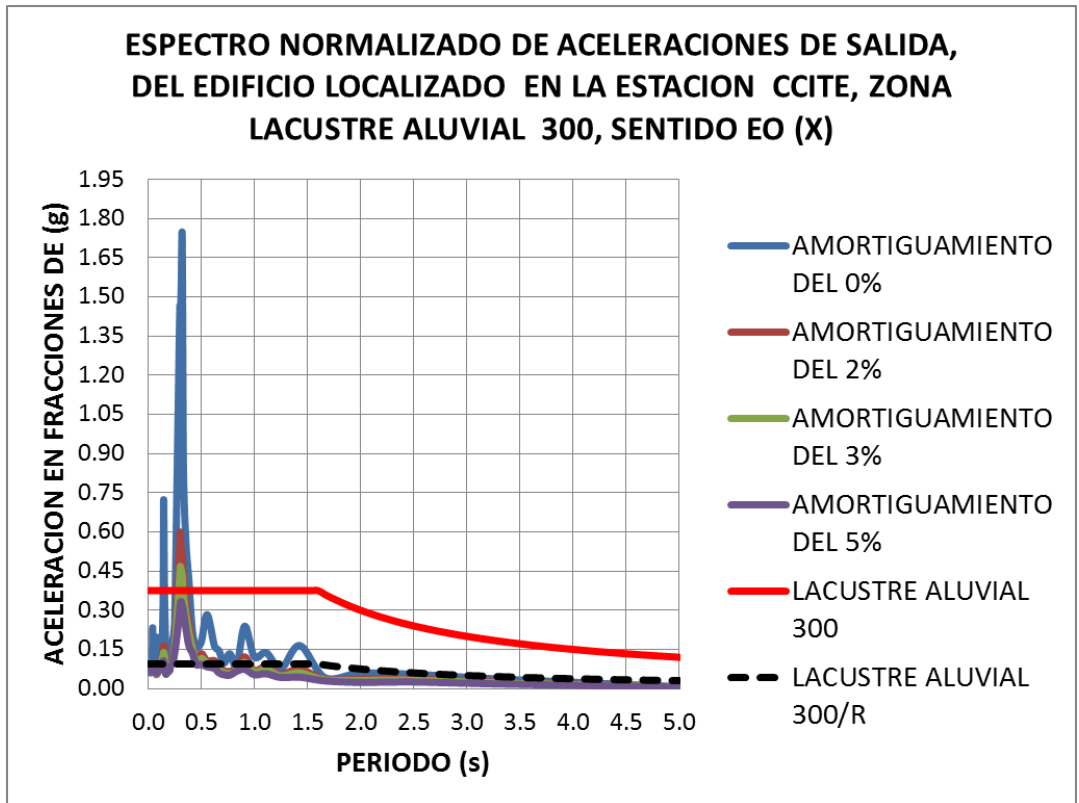
- 7) **Estación CITEC:** El código en la RAB es CCITE, ubicada en la Carrera 65 B # 17^a-11. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **LACUSTRE ALUVIAL 300** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CCITE, LACUSTRE ALUVIAL 300, SENTIDO EO (X):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CCITE y NSR-10, sentido EO:

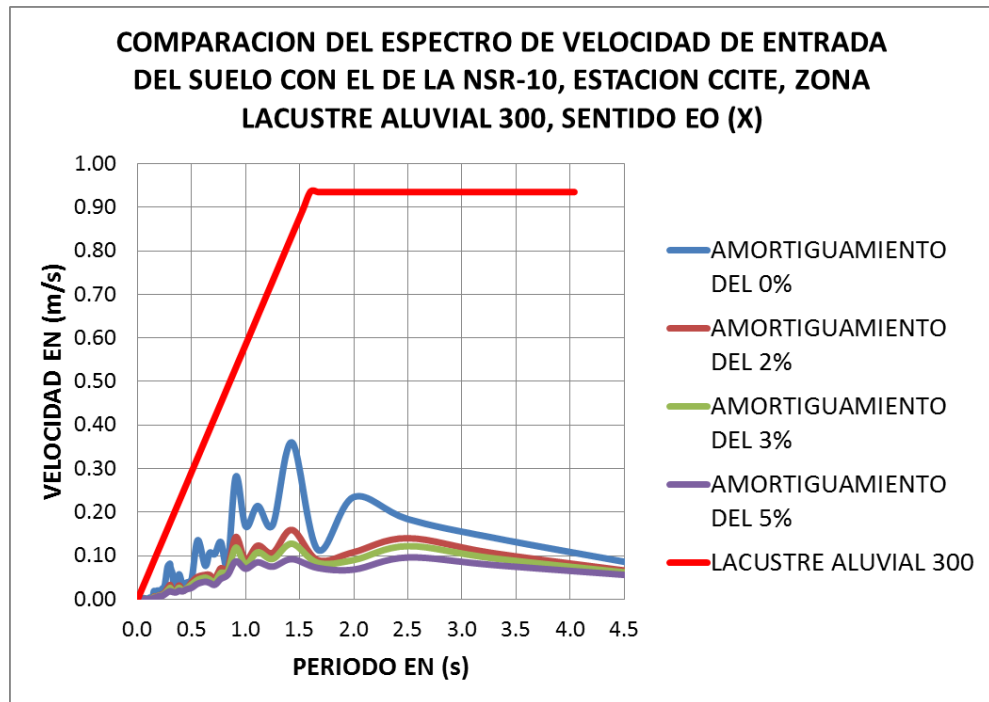


Fuente: Elaboración propia

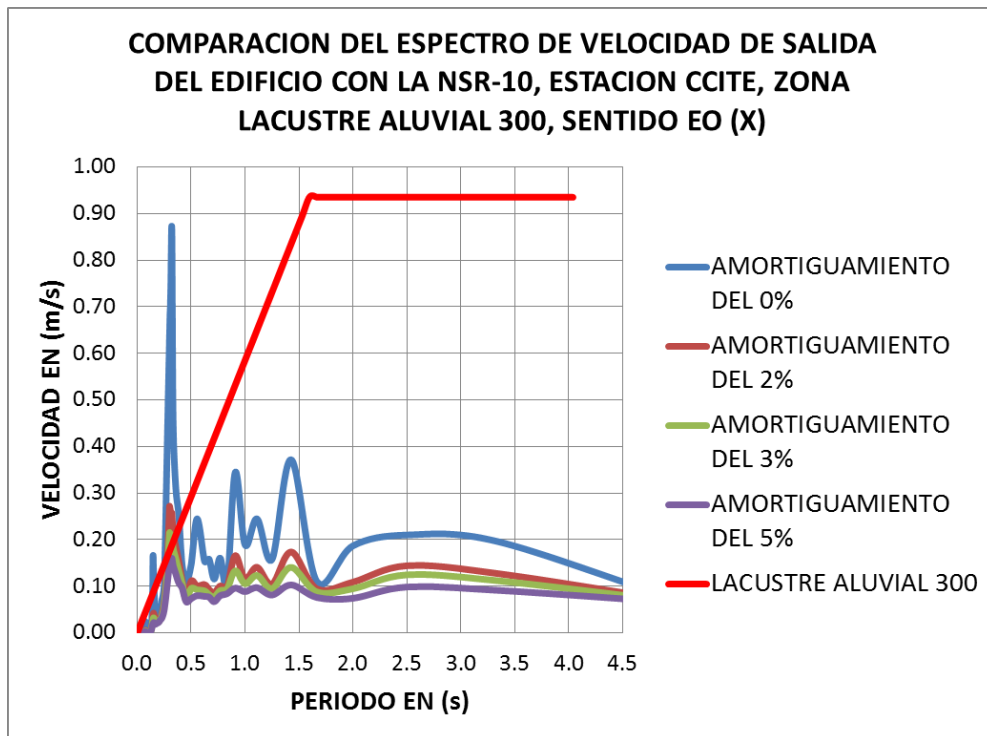


Fuente: Elaboración propia

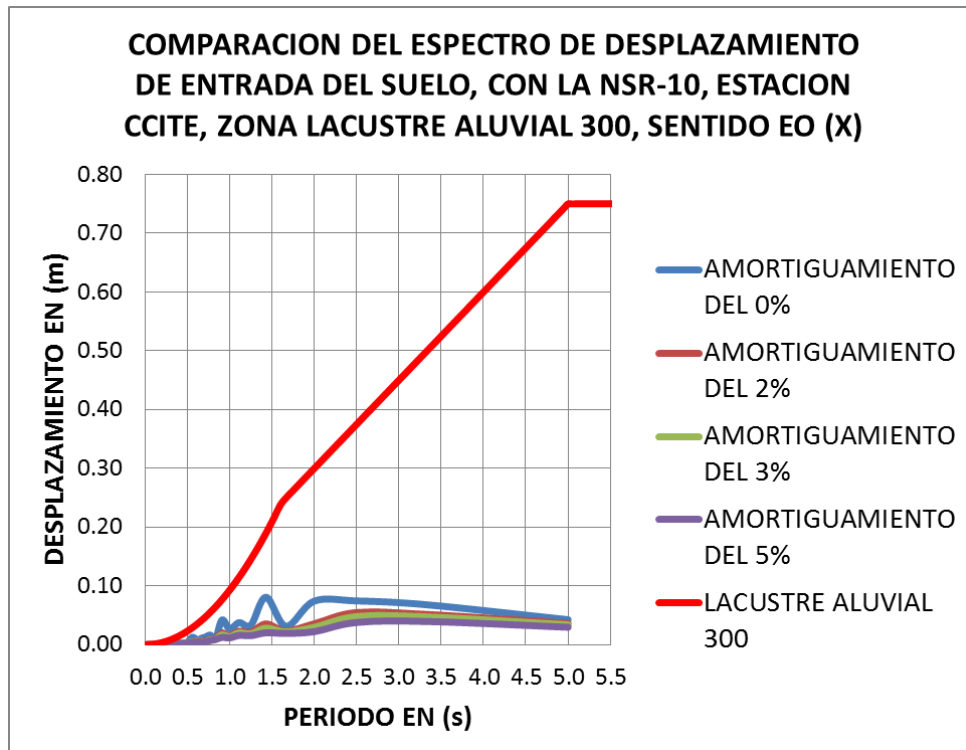
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CCITE y NSR-10, sentido EO:

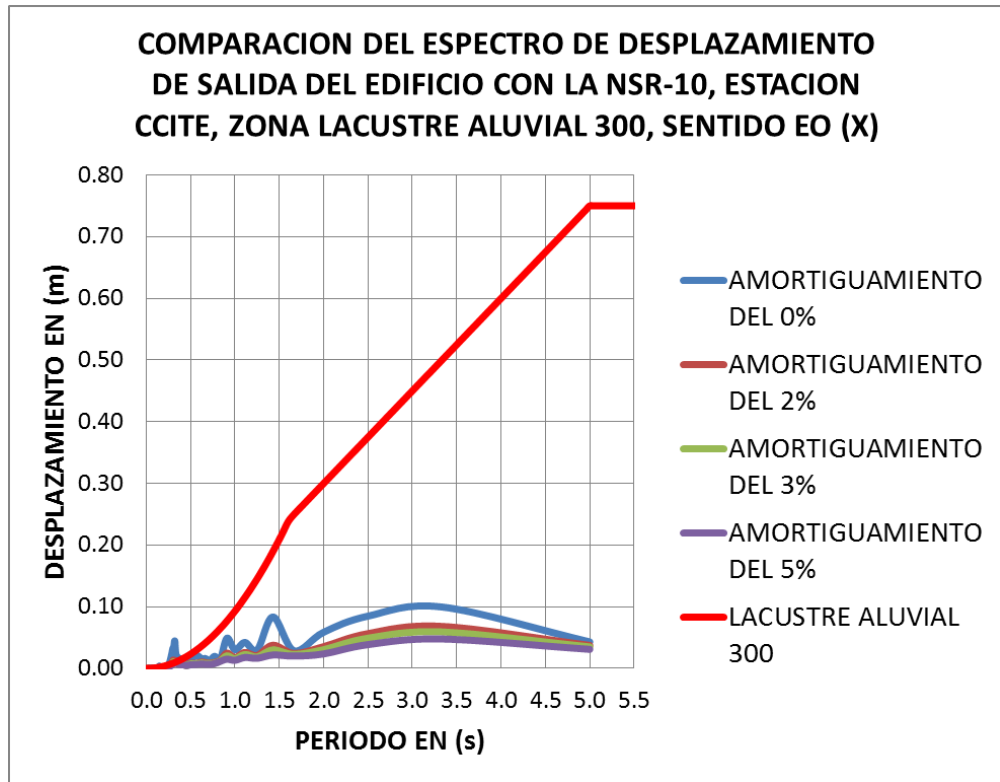


Fuente: Elaboración propia

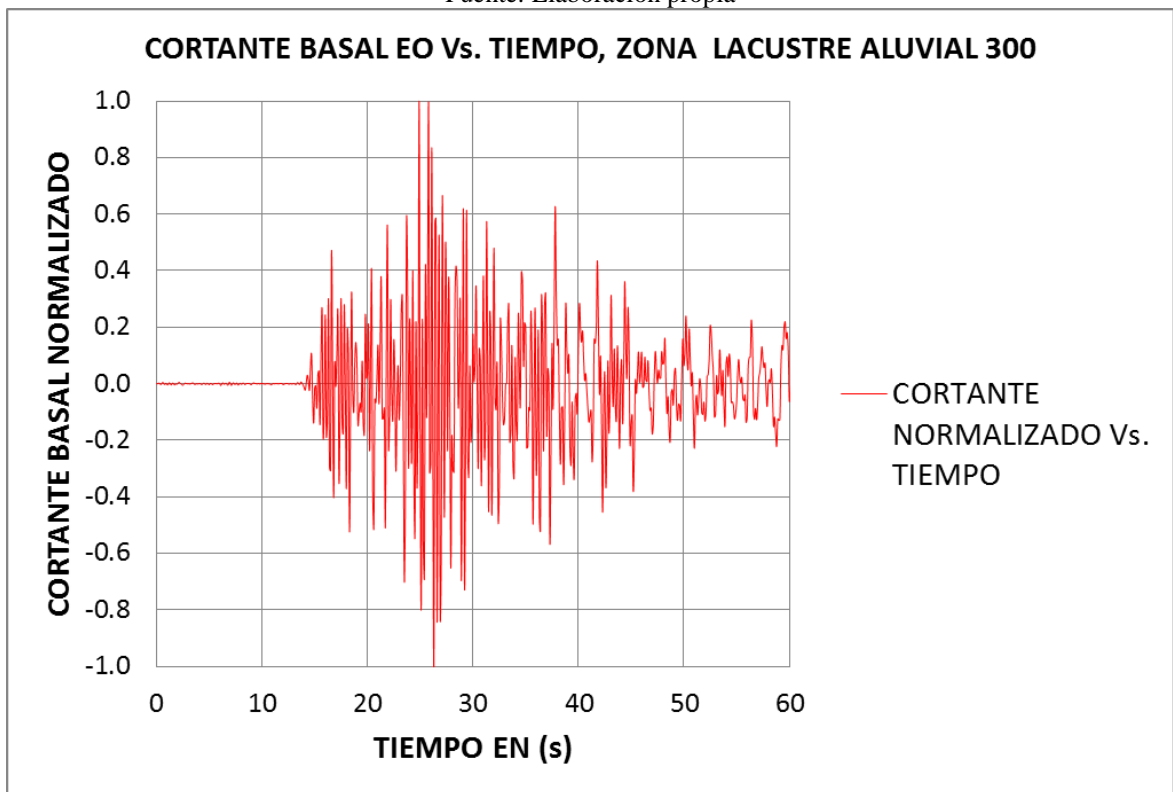


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CCITE y NSR-10, sentido EO:





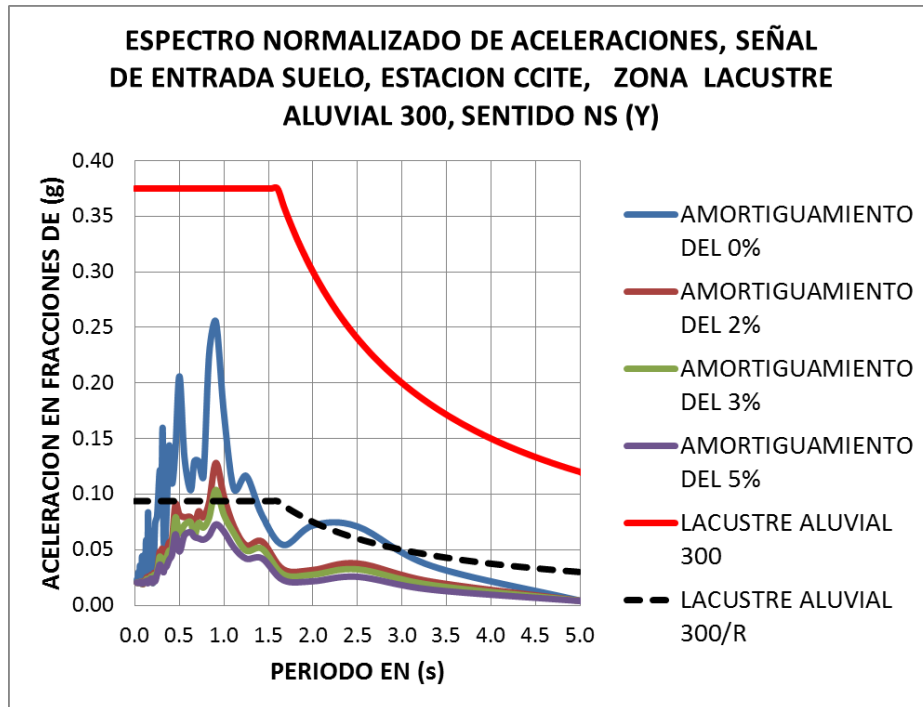
Fuente: Elaboración propia



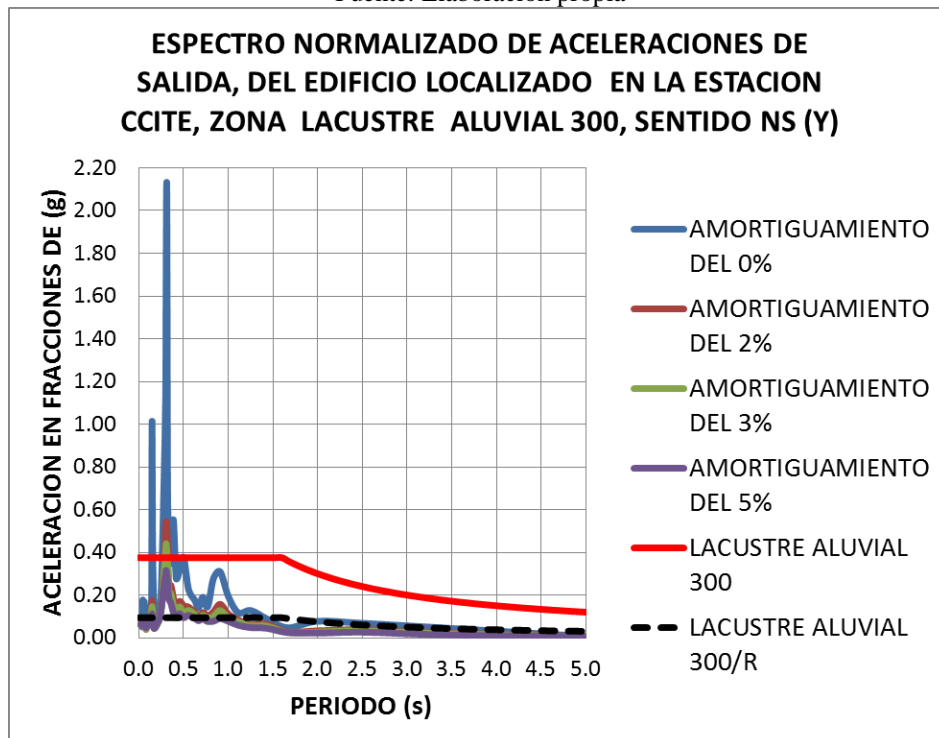
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CCITE, LACUSTRE ALUVIAL 300, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CCITE y NSR-10, sentido NS:

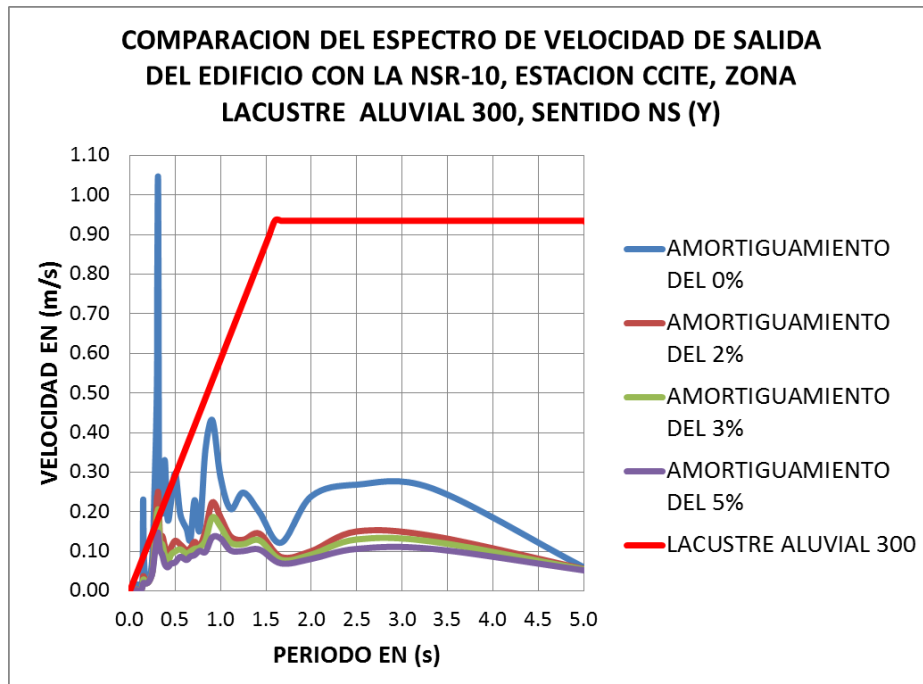
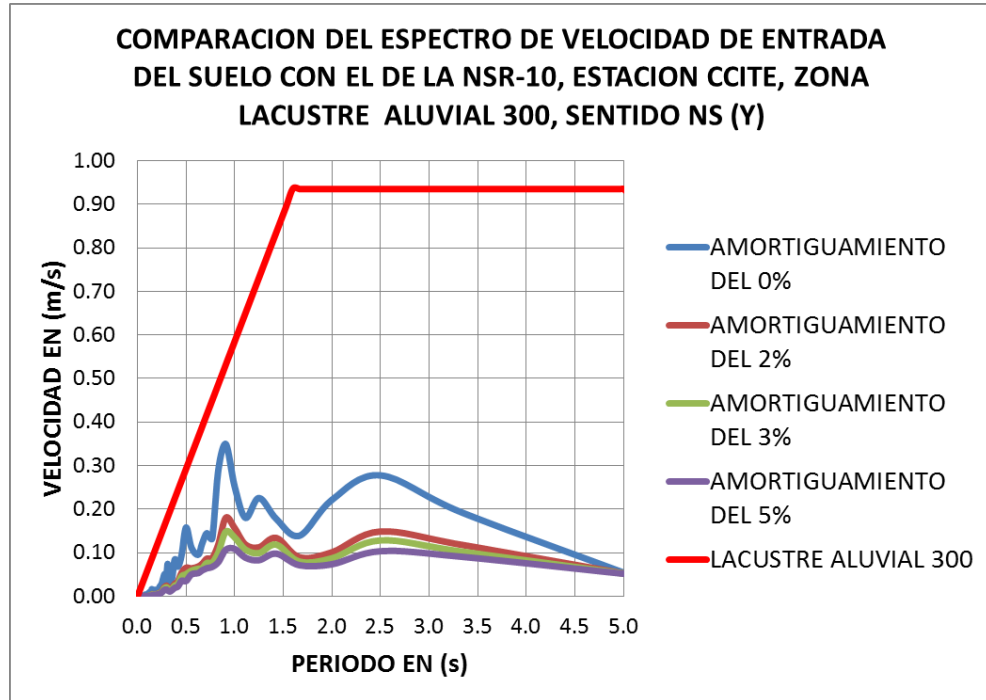


Fuente: Elaboración propia

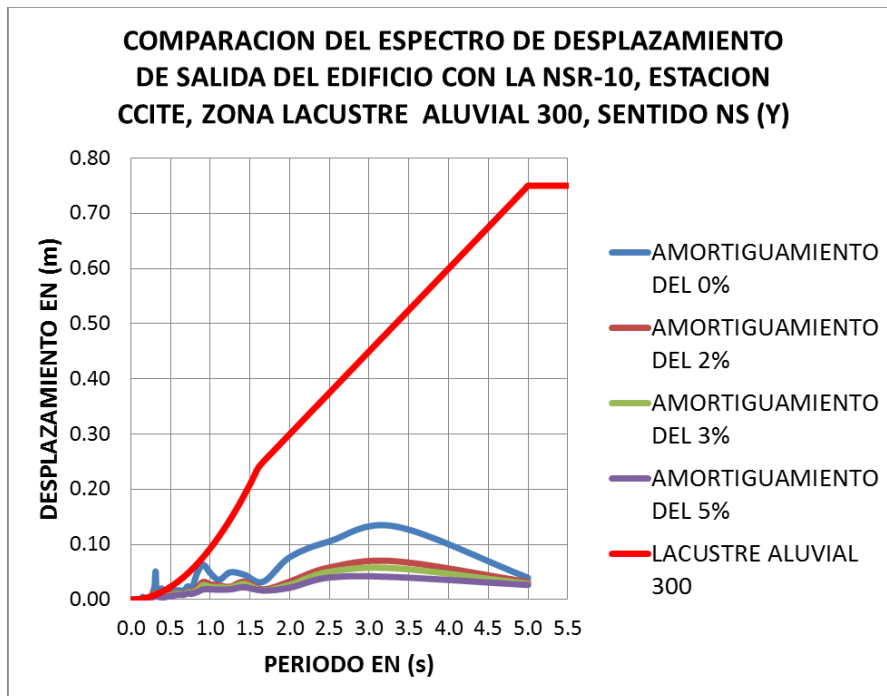
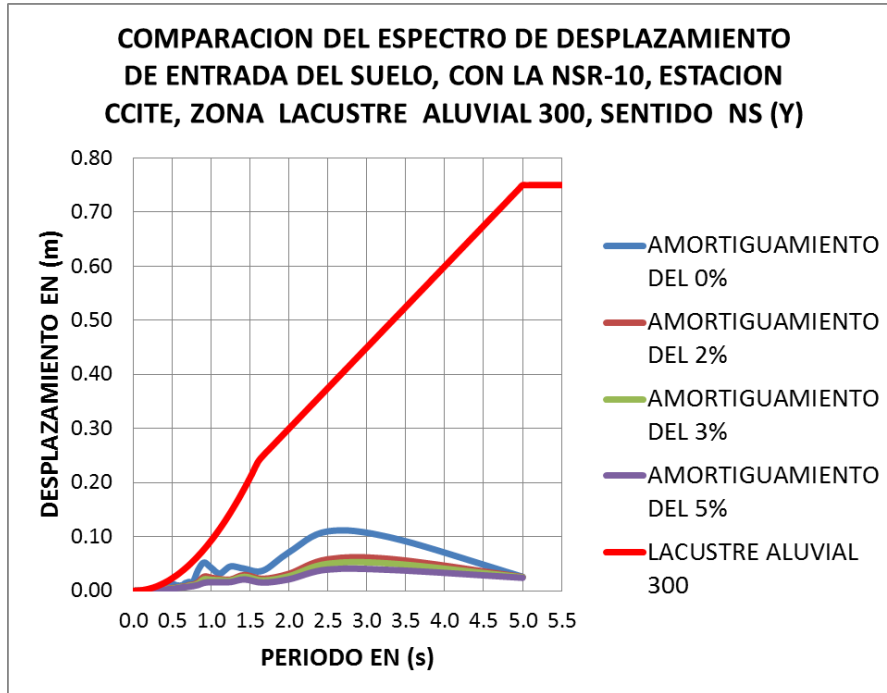


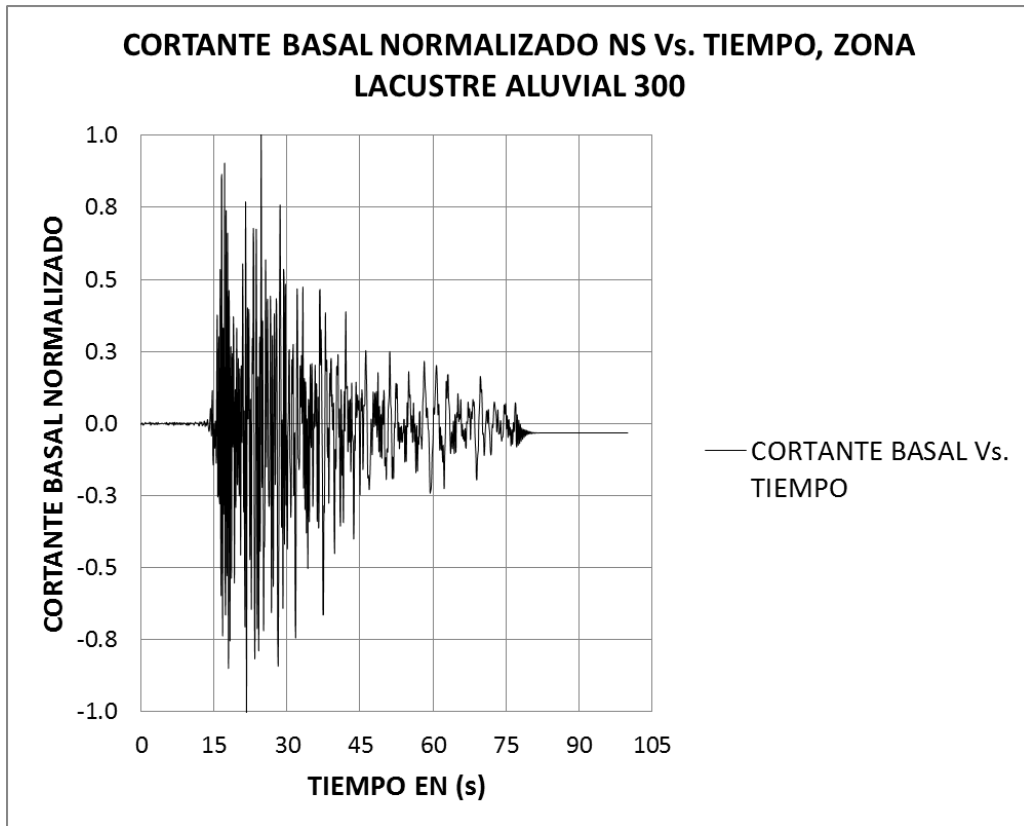
Fuente: Elaboración propia

-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CCITE y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CCITE y NSR-10, sentido NS:



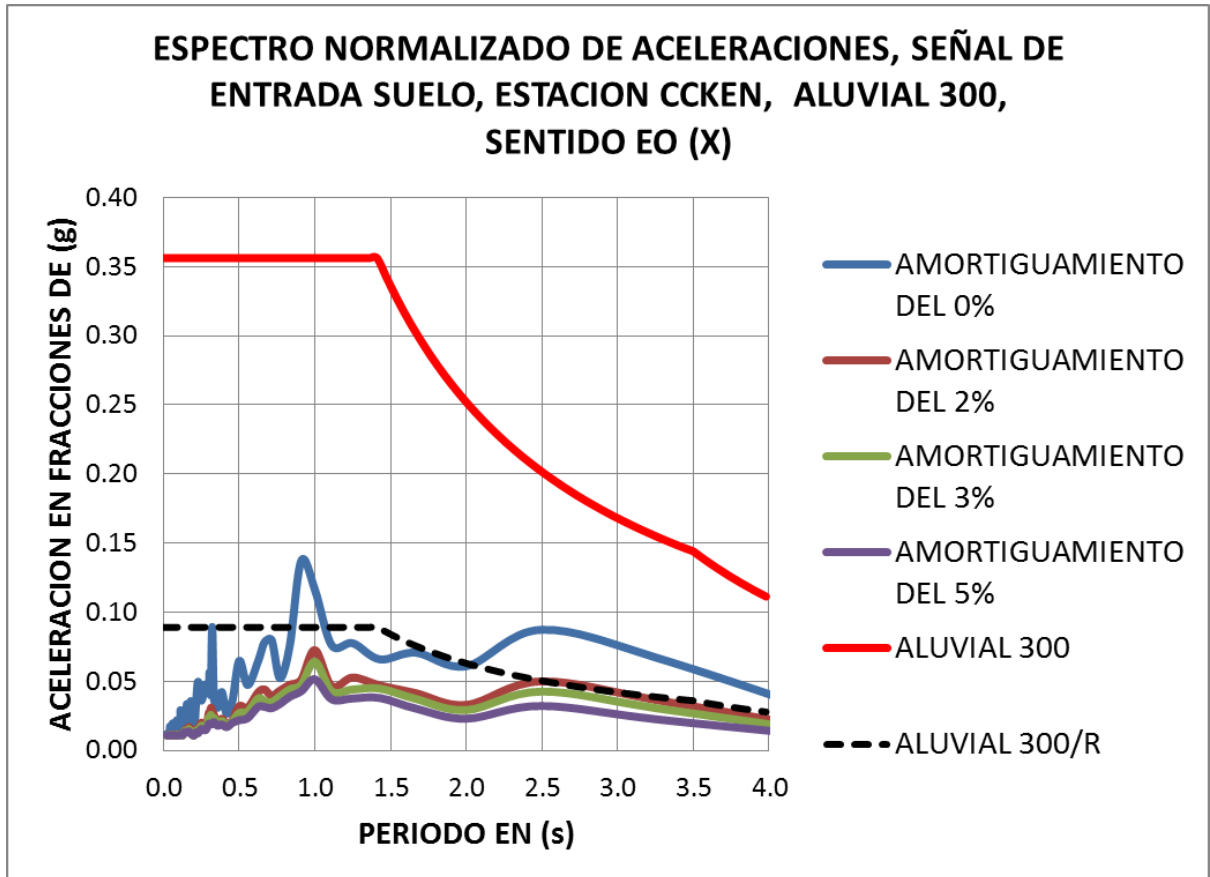


Fuente: Elaboración propia

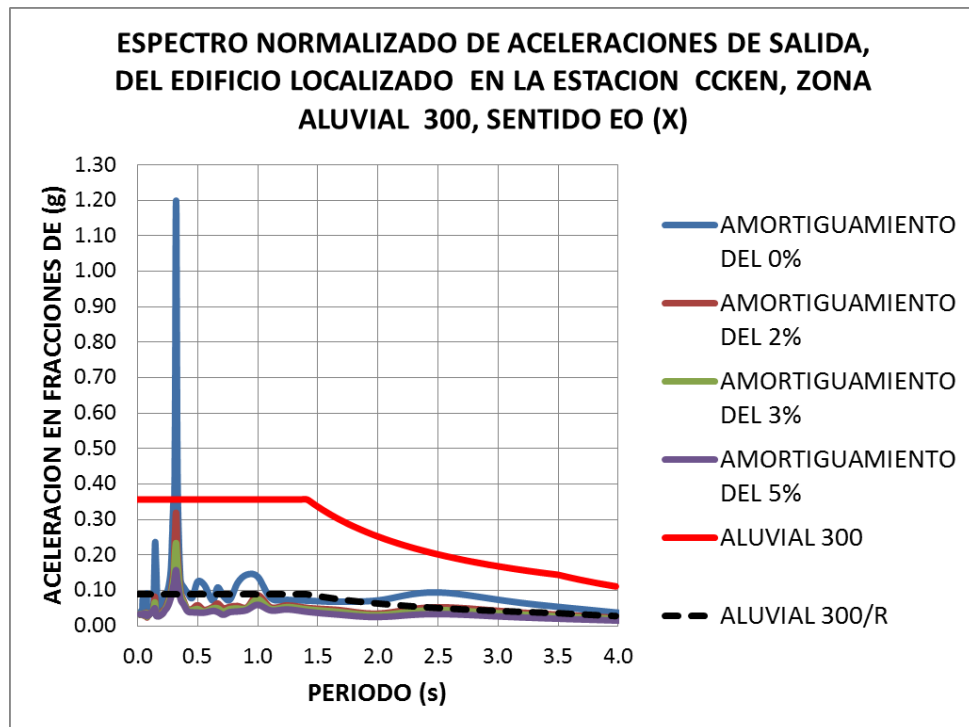
- 8) **Estación Colegio Kennedy:** El código en la RAB es CCKEN, ubicada en la Calle 38 Sur # 107C-29. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **ALUVIAL 300** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CCKEN, ALUVIAL 300, SENTIDO EO (X):

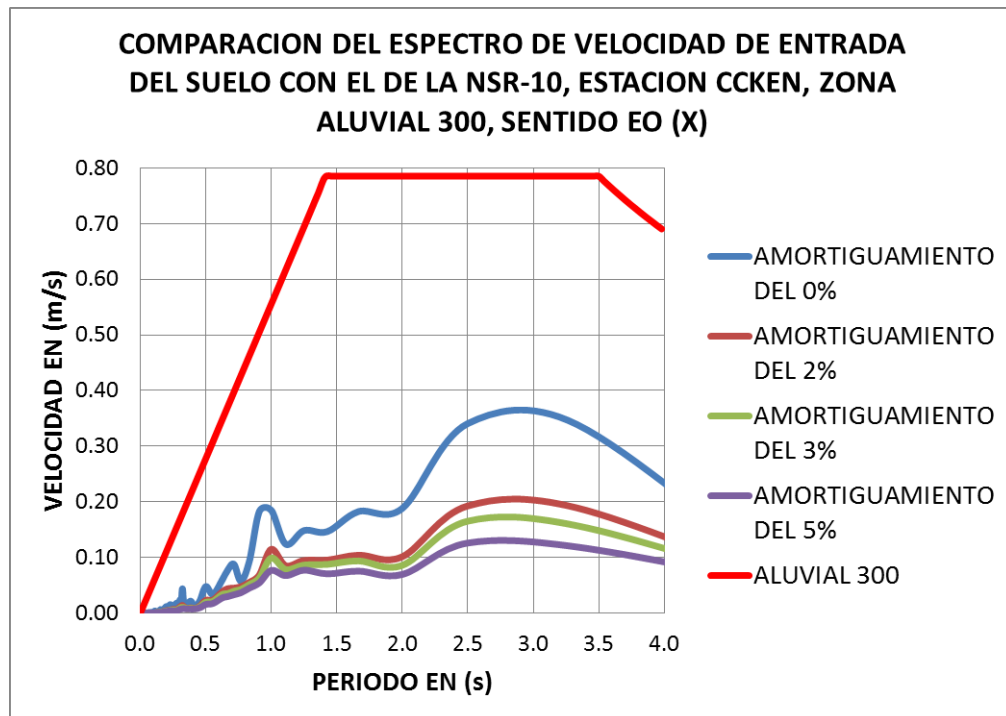
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CCKEN y NSR-10, sentido EO:

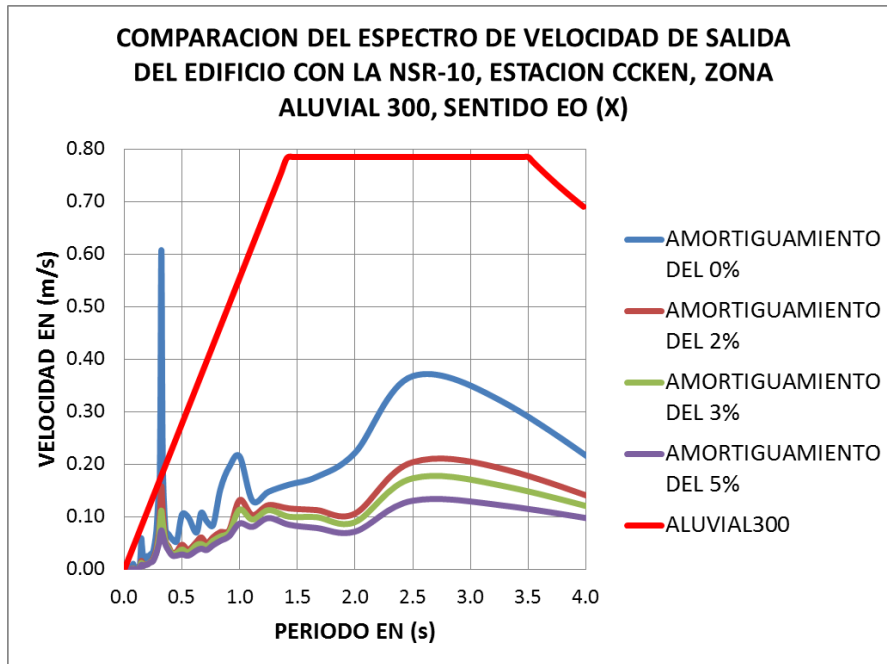


Fuente: Elaboración propia

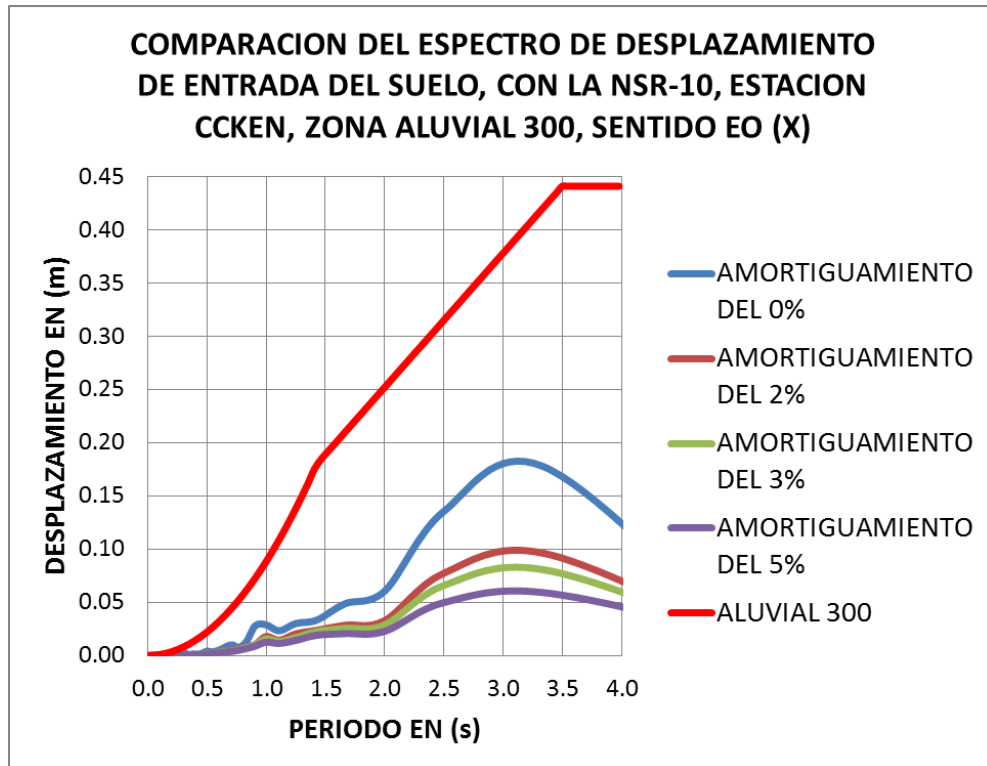


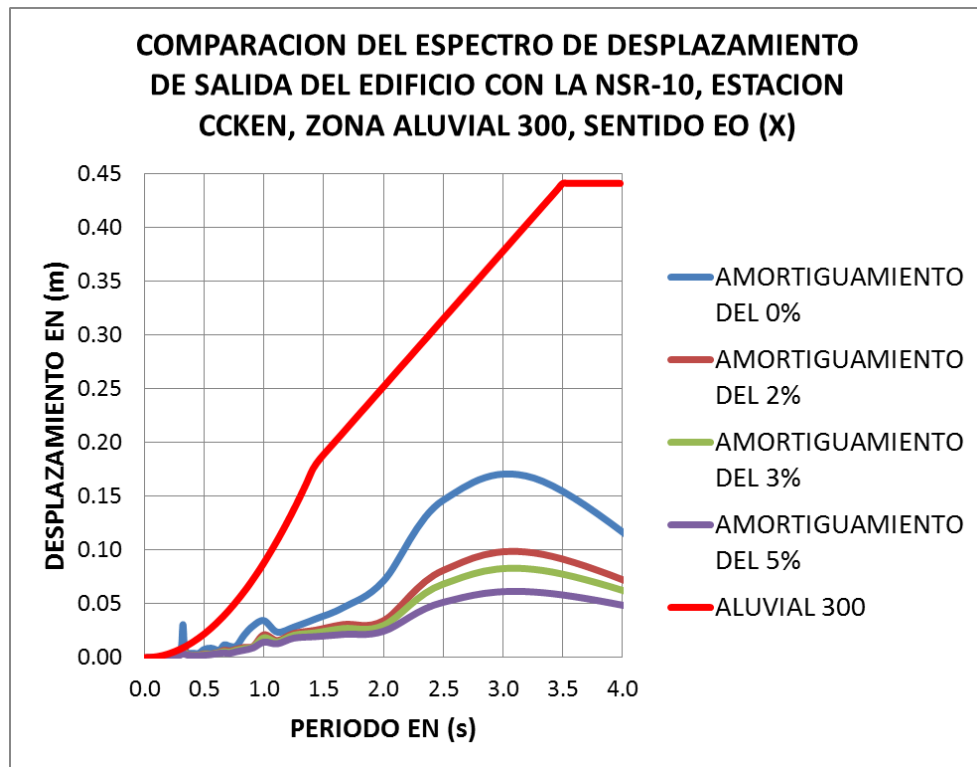
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CCKEN y NSR-10, sentido EO:



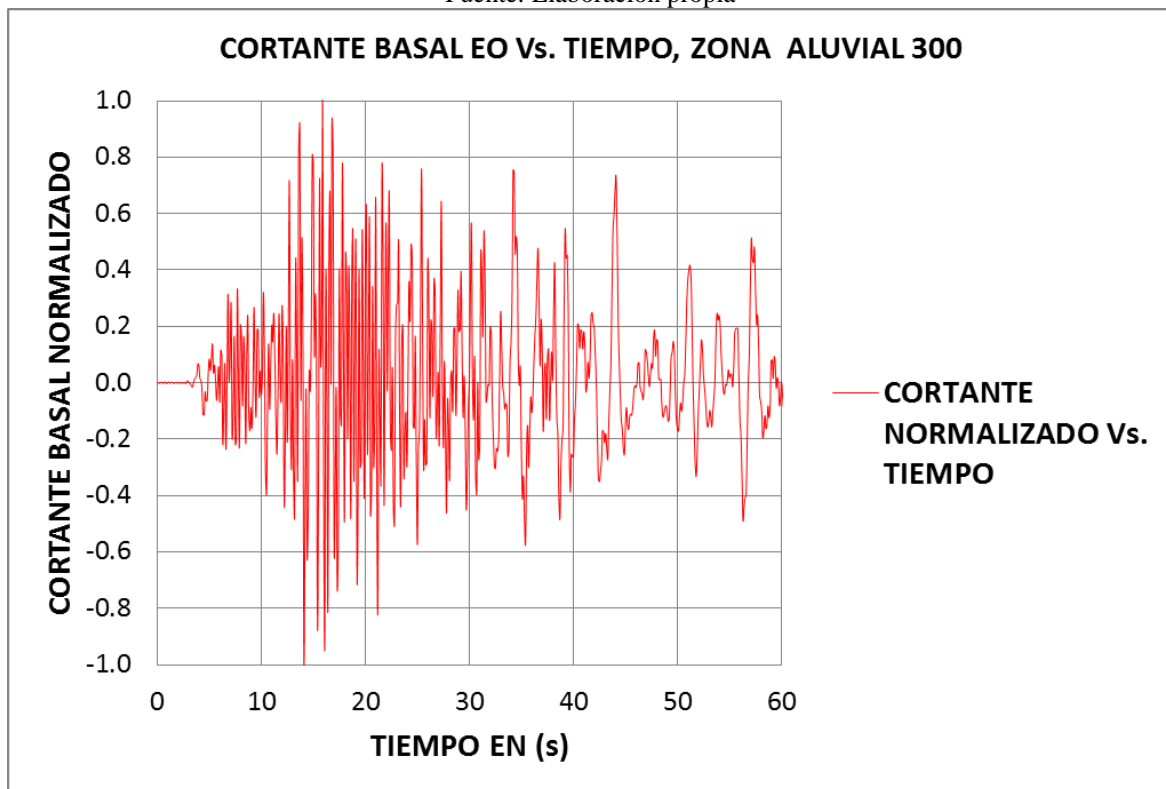


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CCKEN y NSR-10, sentido EO:





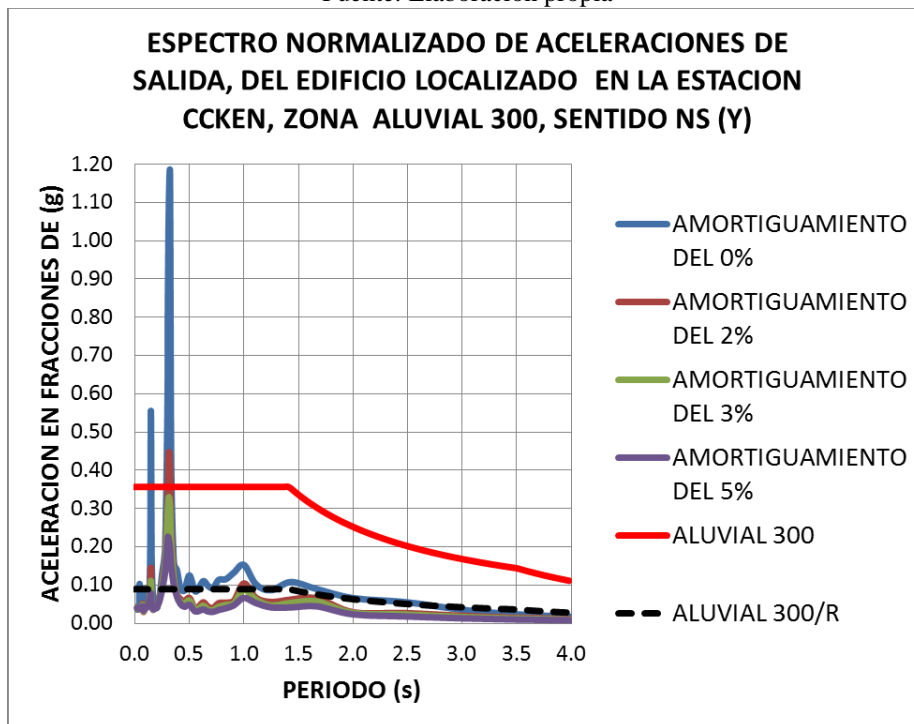
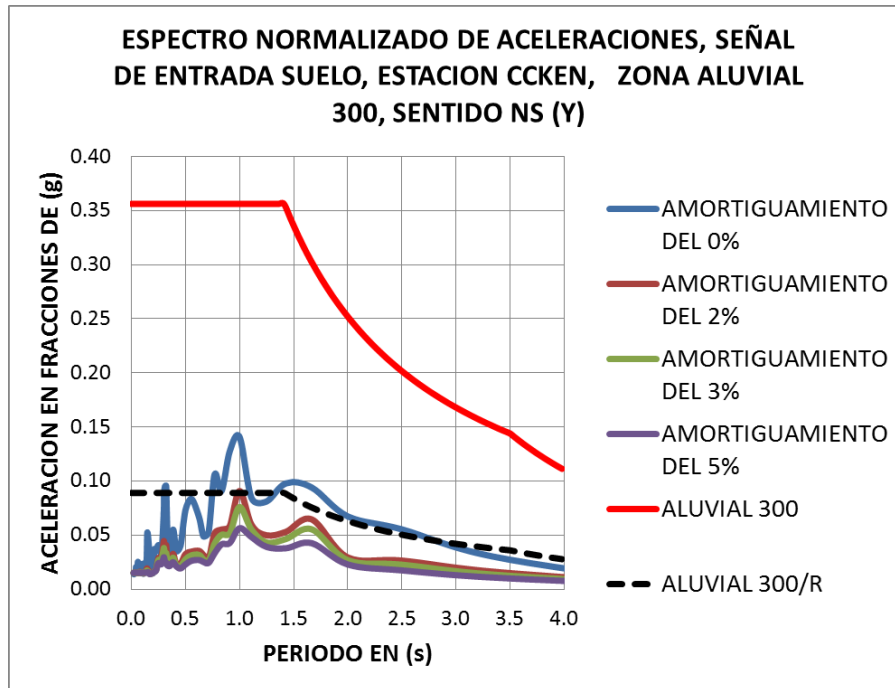
Fuente: Elaboración propia



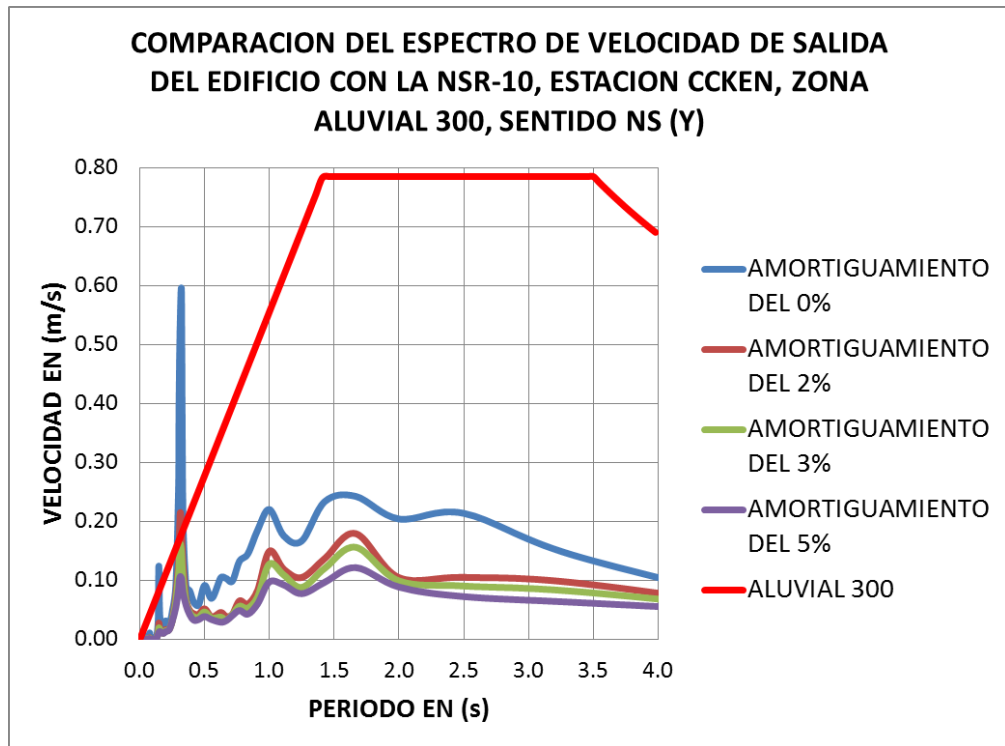
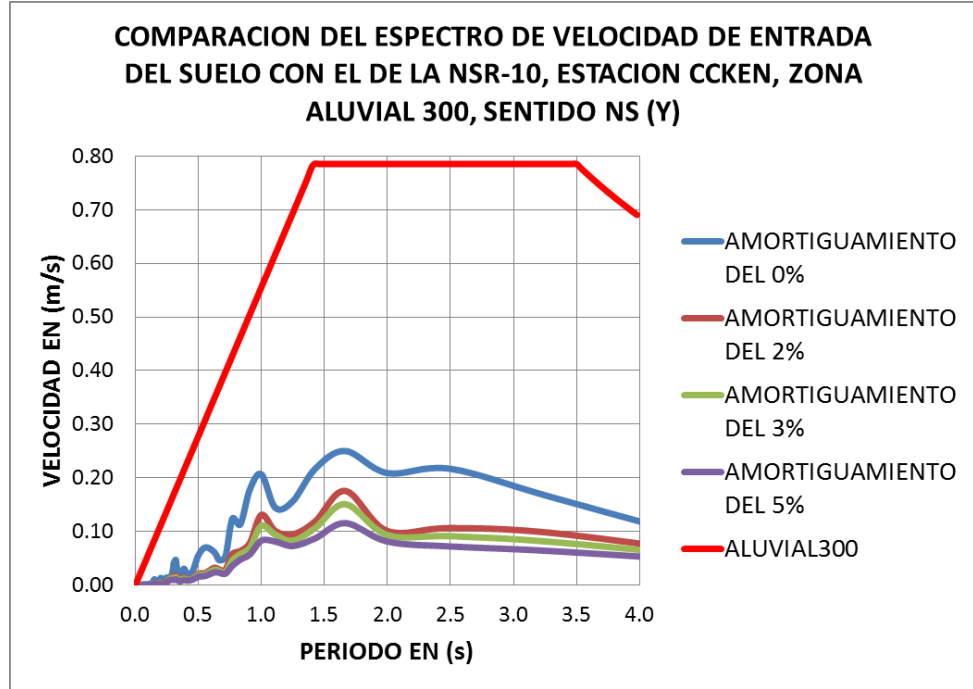
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CCKEN, ALUVIAL 300, SENTIDO NS (Y):

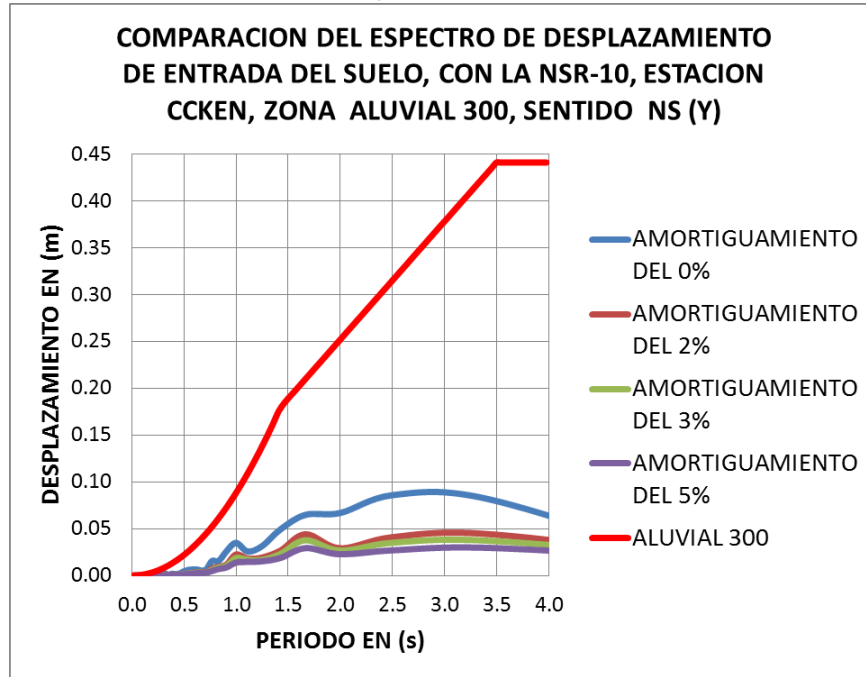
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CCKEN y NSR-10, sentido NS:



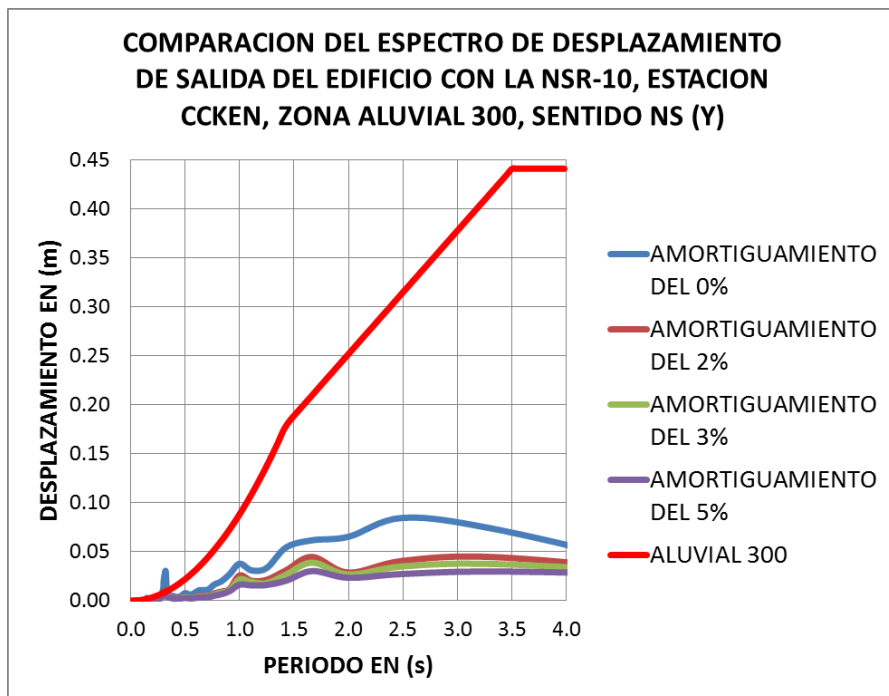
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CCKEN y NSR-10, sentido NS:



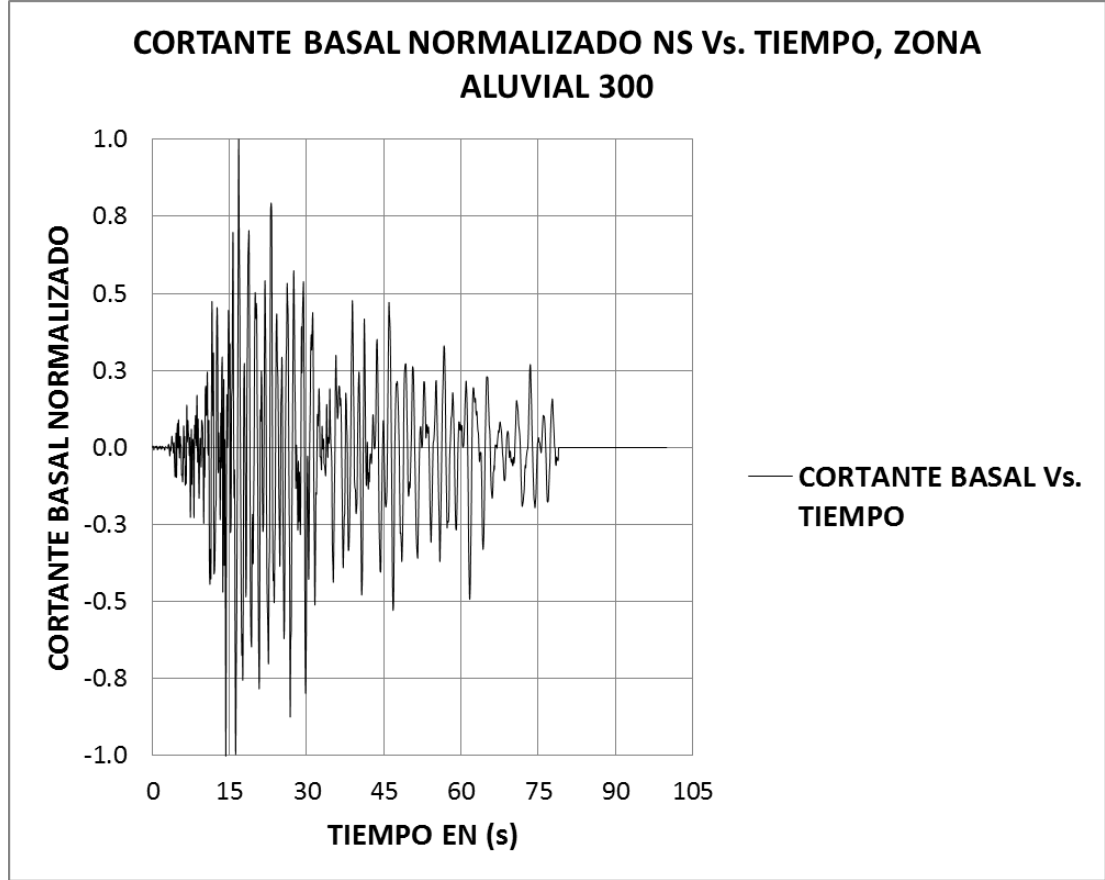
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CCKEN y NSR-10, sentido NS:



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



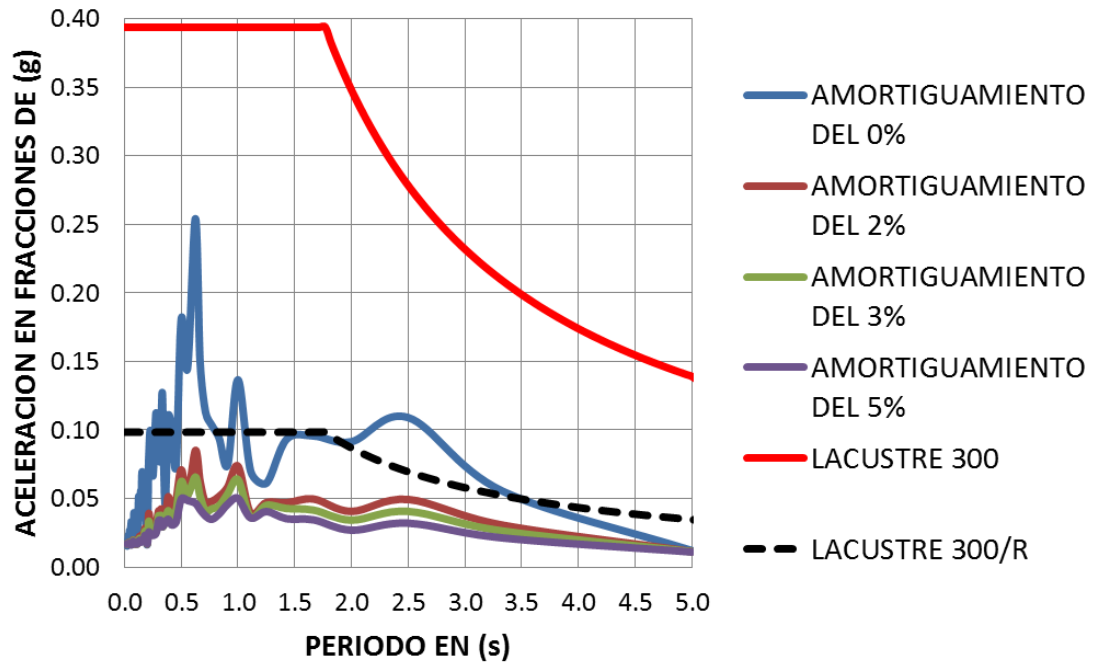
Fuente: Elaboración propia.

Estación Universidad Corpas: El código en la RAB es CCORP, ubicada en la Av. Corpas Km 3.0, vía a Suba. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **LACUSTRE 300** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

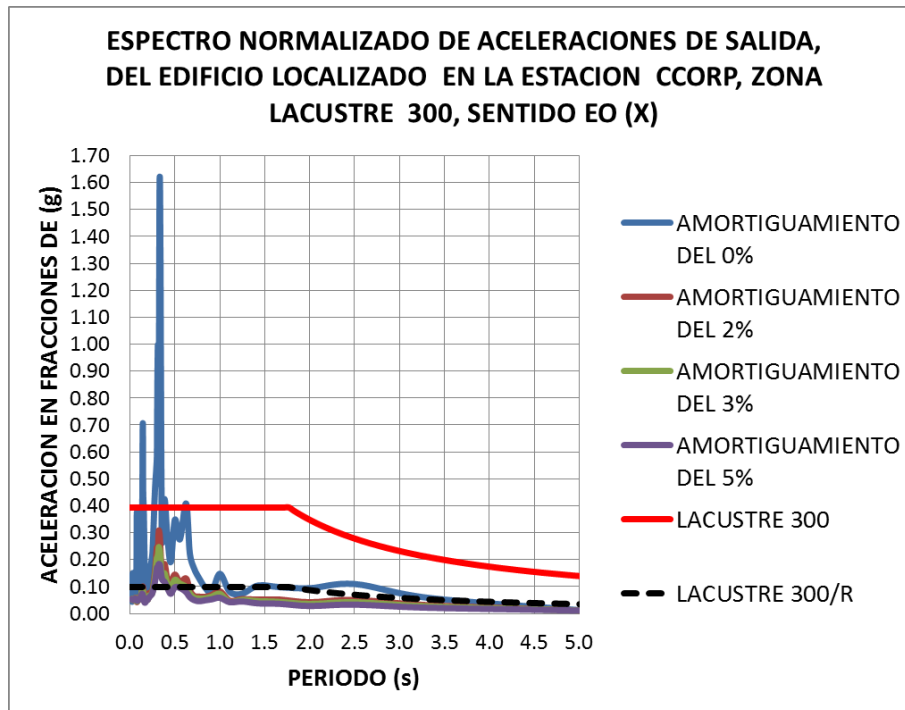
ESTACION CCORP, LACUSTRE 300, SENTIDO EO (X):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CCORP y NSR-10, sentido EO:

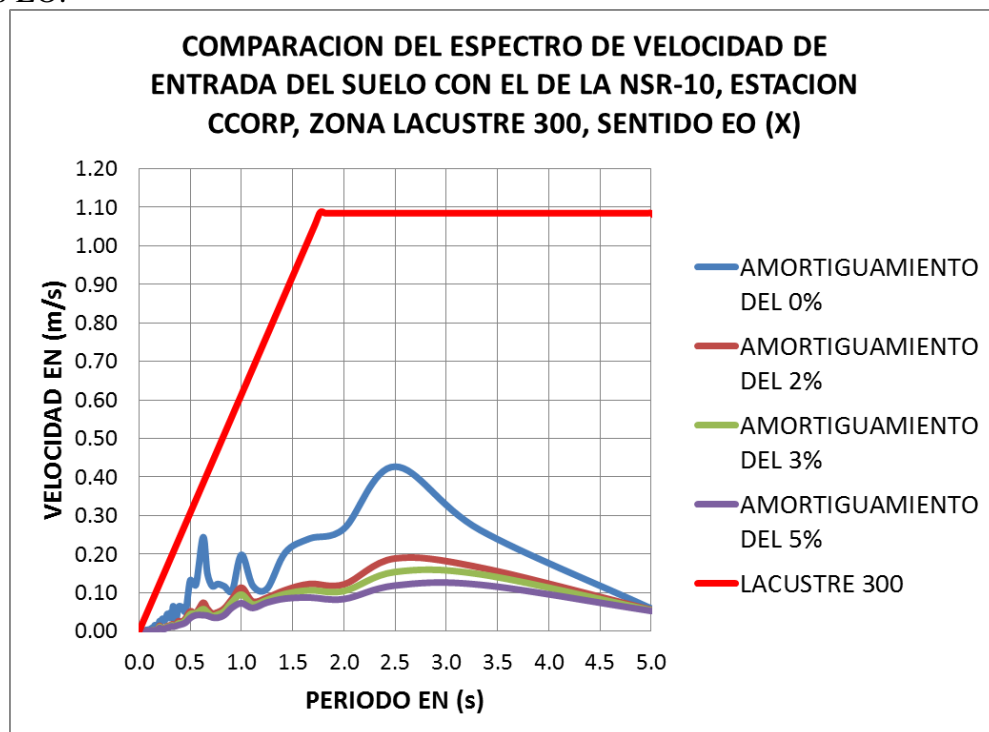
ESPECTRO NORMALIZADO DE ACELERACIONES, SEÑAL DE ENTRADA SUELO, ESTACION CCORP, LACUSTRE 300, SENTIDO EO (X)

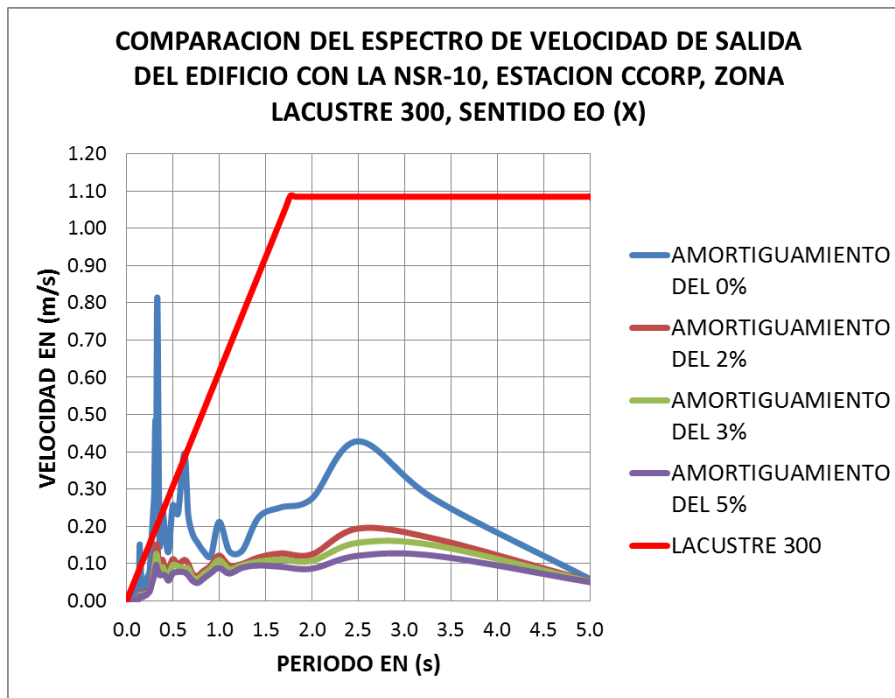


Fuente: Elaboración propia.

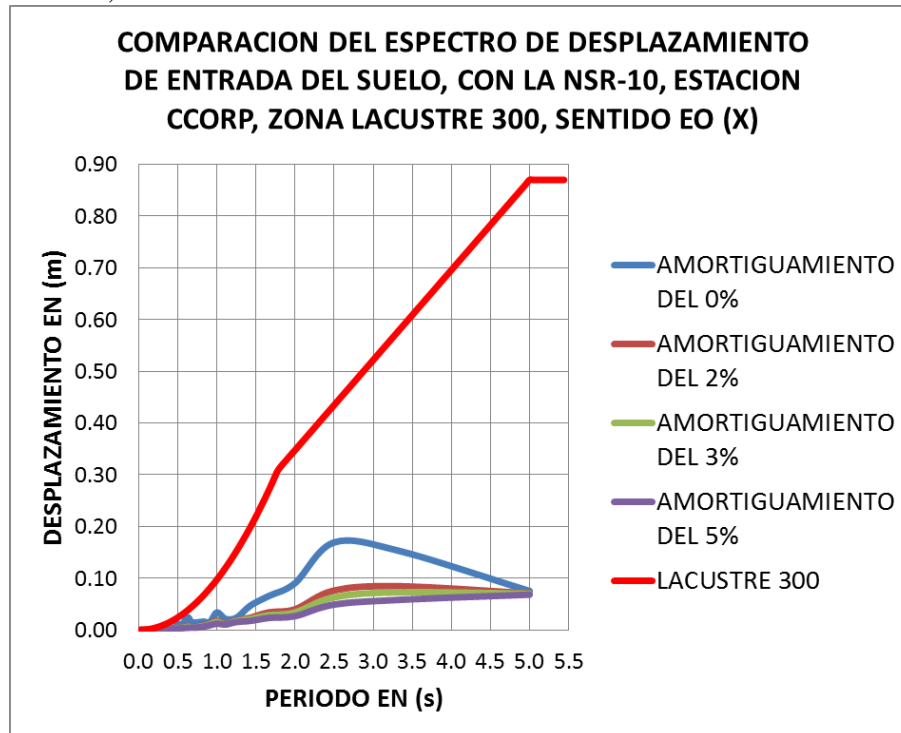


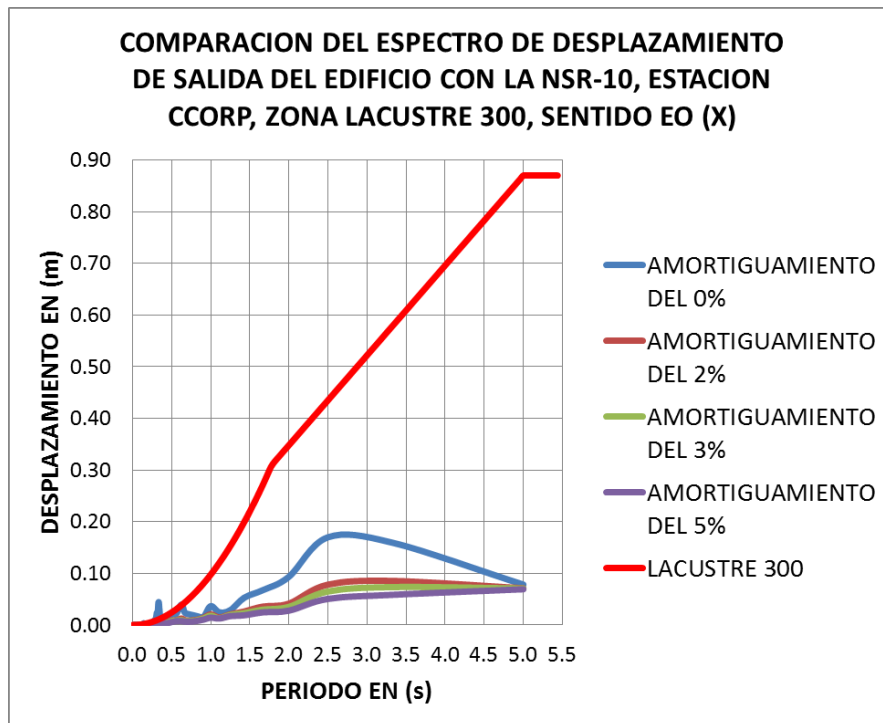
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CCORP y NSR-10, sentido EO:



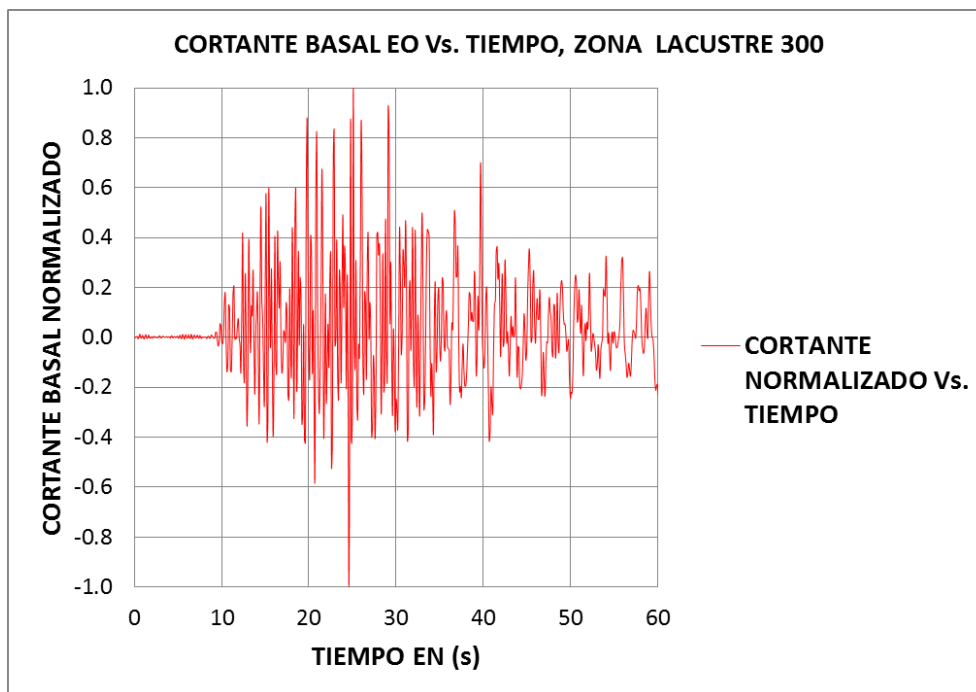


-Espectros de desplazamiento velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CCORP y NSR-10, sentido EO:





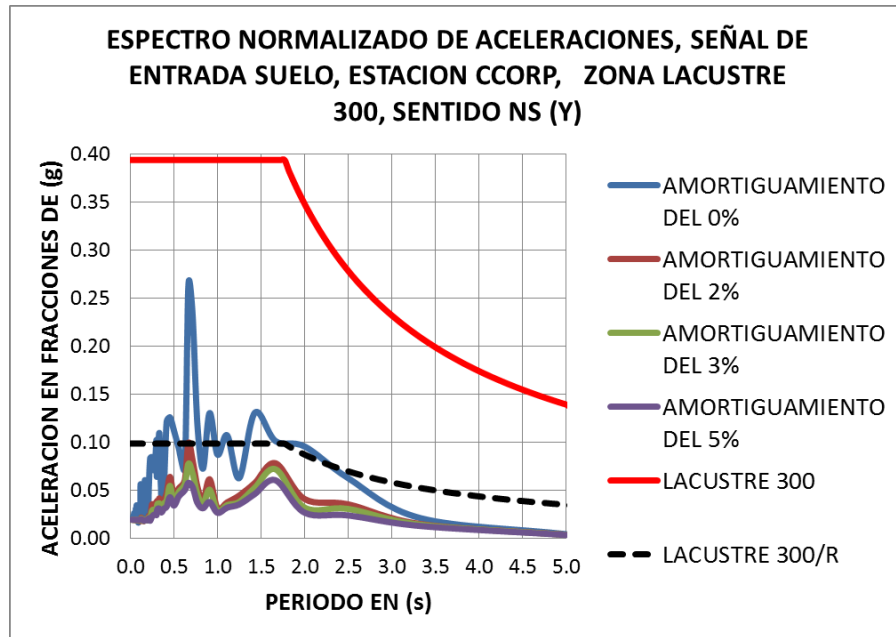
Fuente: Elaboración propia



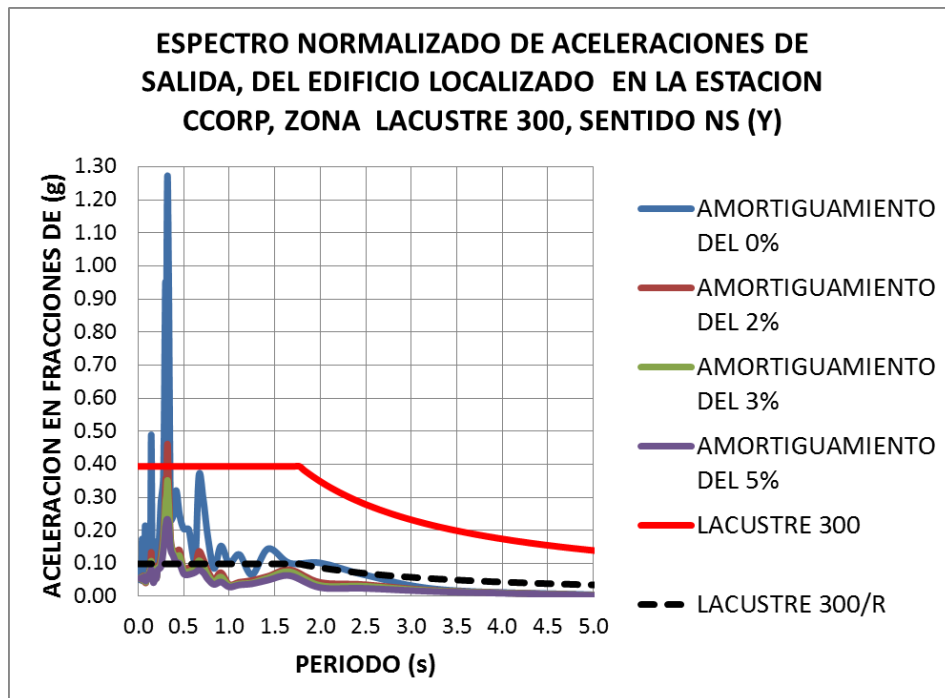
Fuente: Elaboración propia.

ESTACION CCORP, LACUSTRE 300, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CCORP y NSR-10, sentido NS:

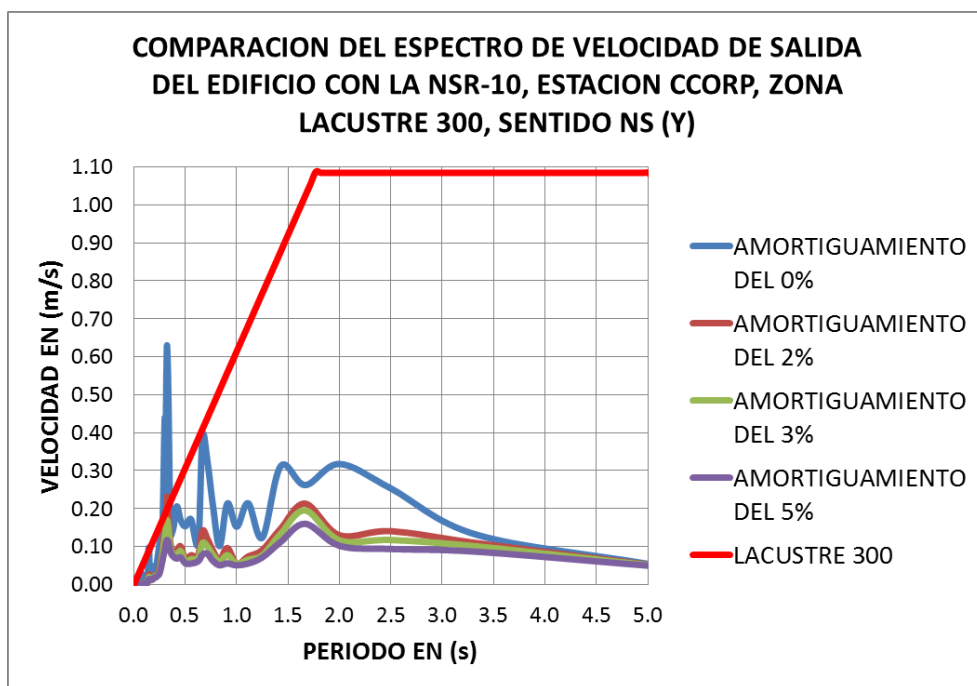
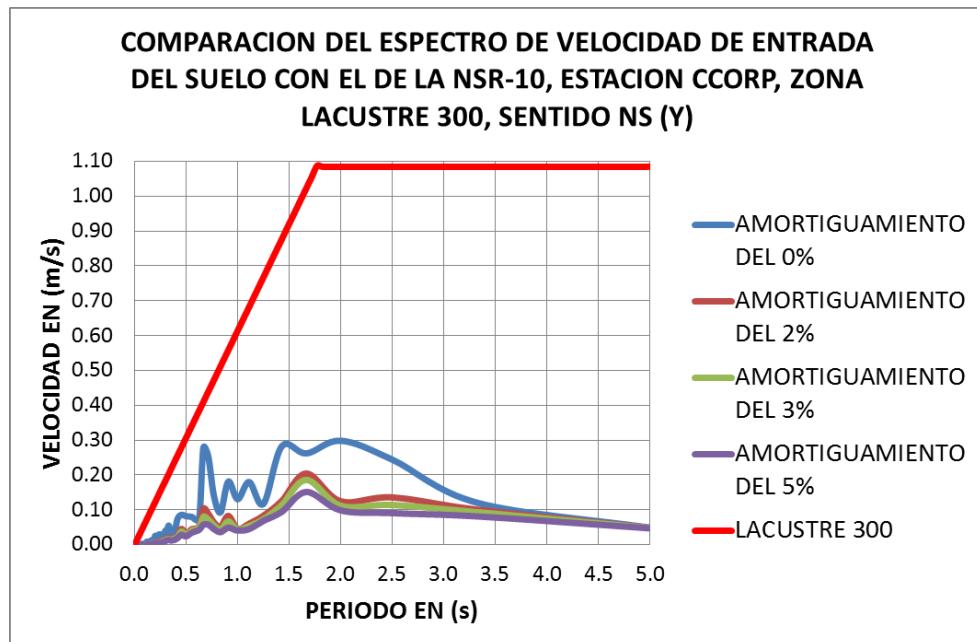


Fuente: Elaboración propia.



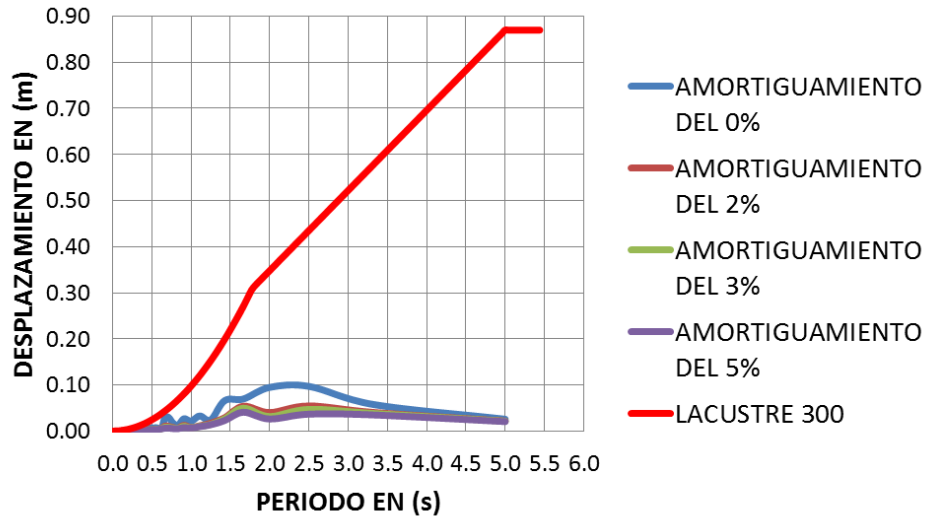
Fuente: Elaboración propia

-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CCORP y NSR-10, sentido NS:



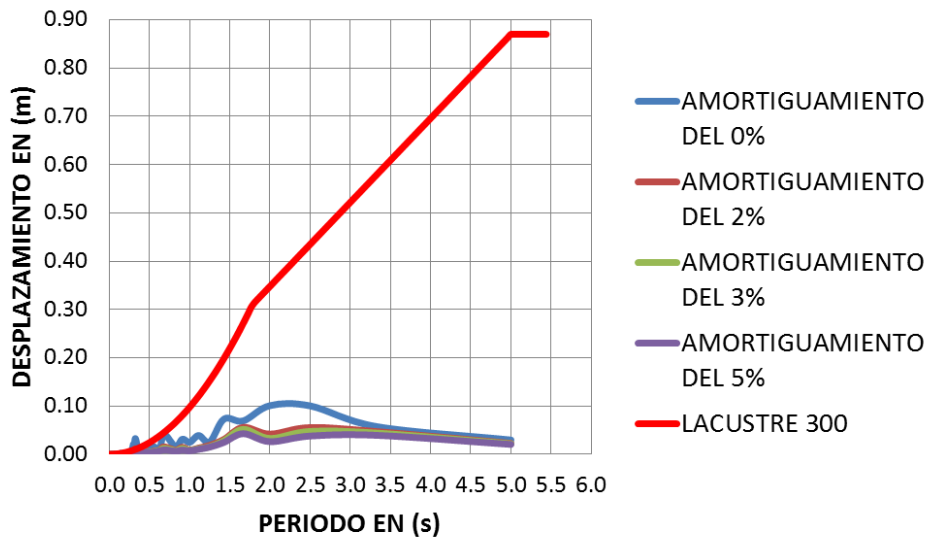
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CCORP y NSR-10, sentido NS:

COMPARACION DEL ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO DE ENTRADA DEL SUELO, CON LA NSR-10, ESTACION CCORP, ZONA LACUSTRE 300, SENTIDO NS (Y)

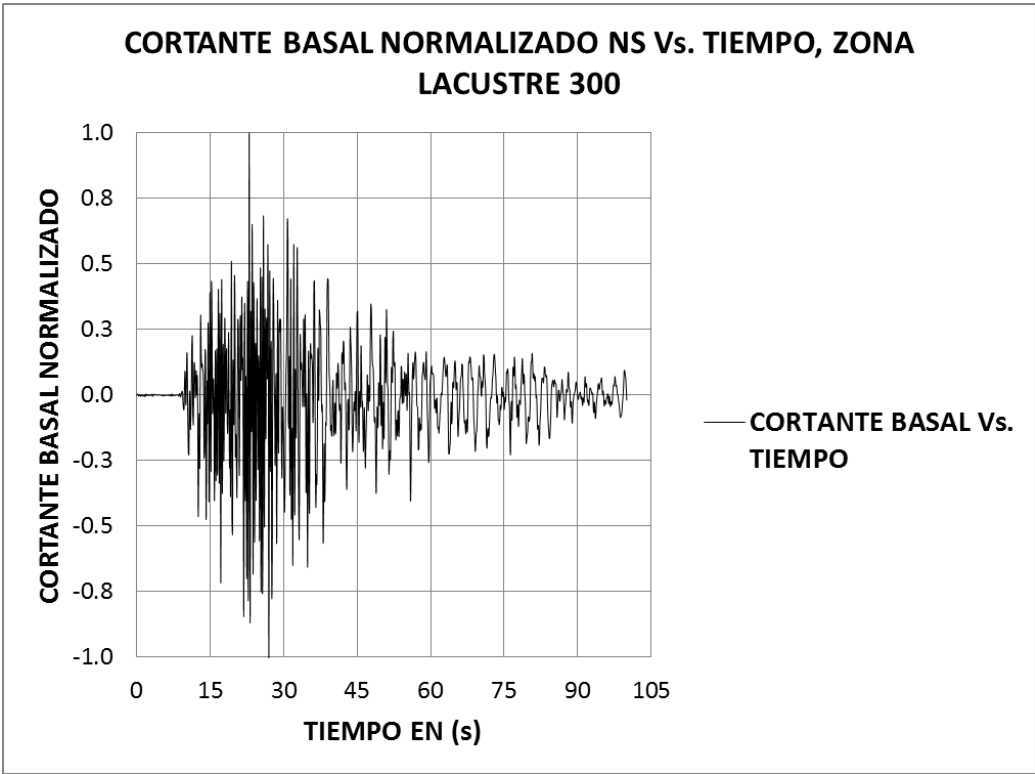


Fuente: Elaboración propia

COMPARACION DEL ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO DE SALIDA DEL EDIFICIO CON LA NSR-10, ESTACION CCORP, ZONA LACUSTRE 300, SENTIDO NS (Y)



Fuente: Elaboración propia

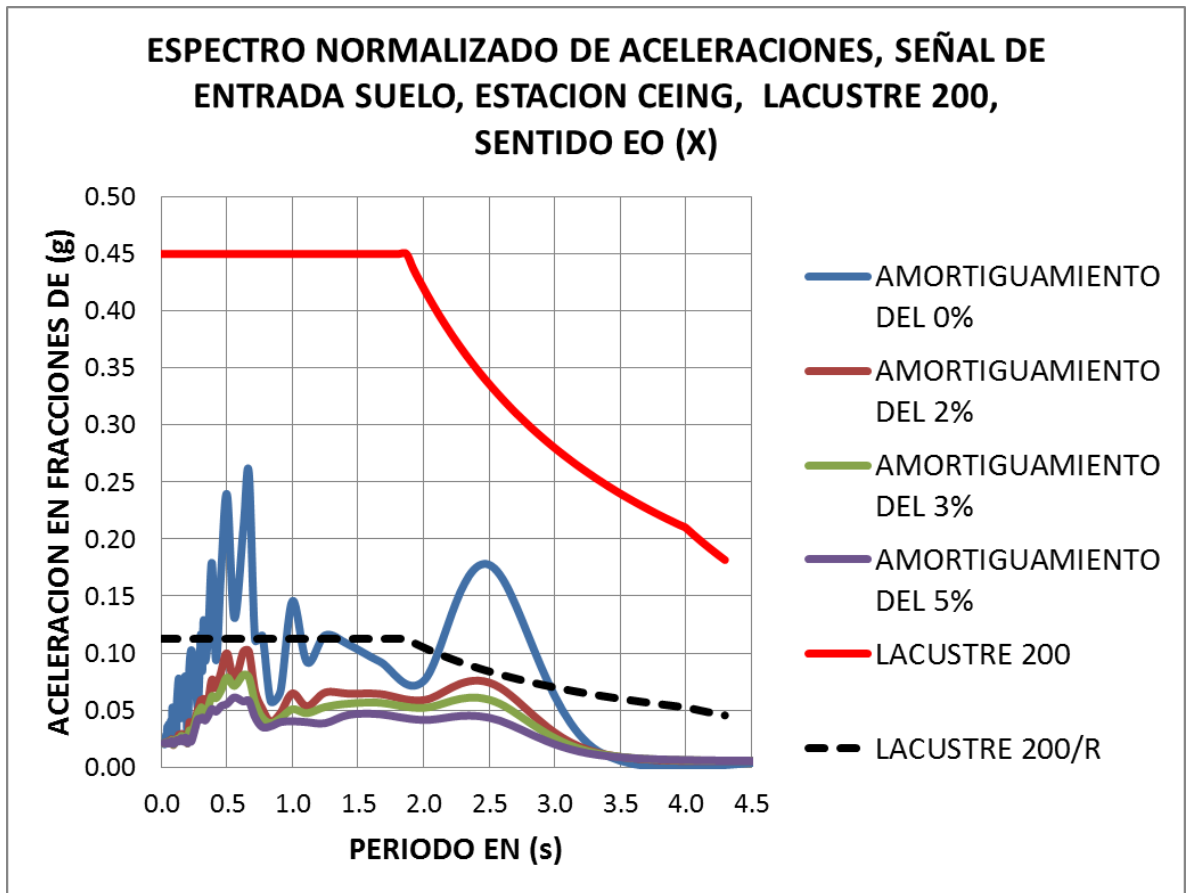


Fuente: Elaboración propia

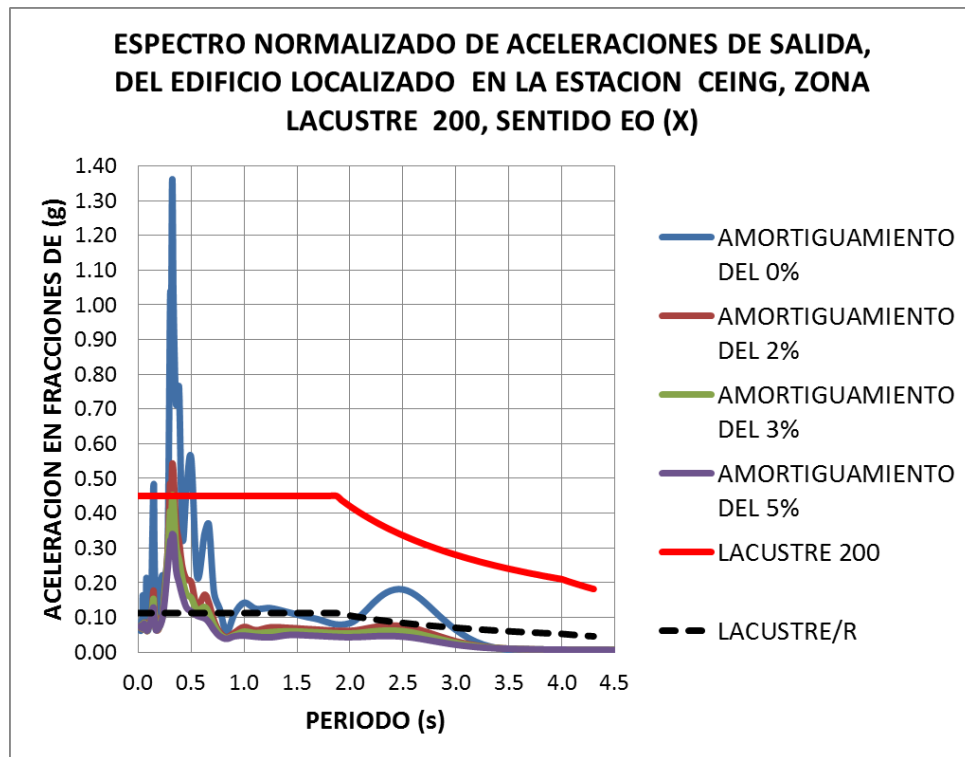
- 9) **Estación Escuela de Ingeniería:** El código en la RAB es CEING, ubicada en la Av. 13 #205-59. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **LACUSTRE 200** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CEING, LACUSTRE 200, SENTIDO EO (X):

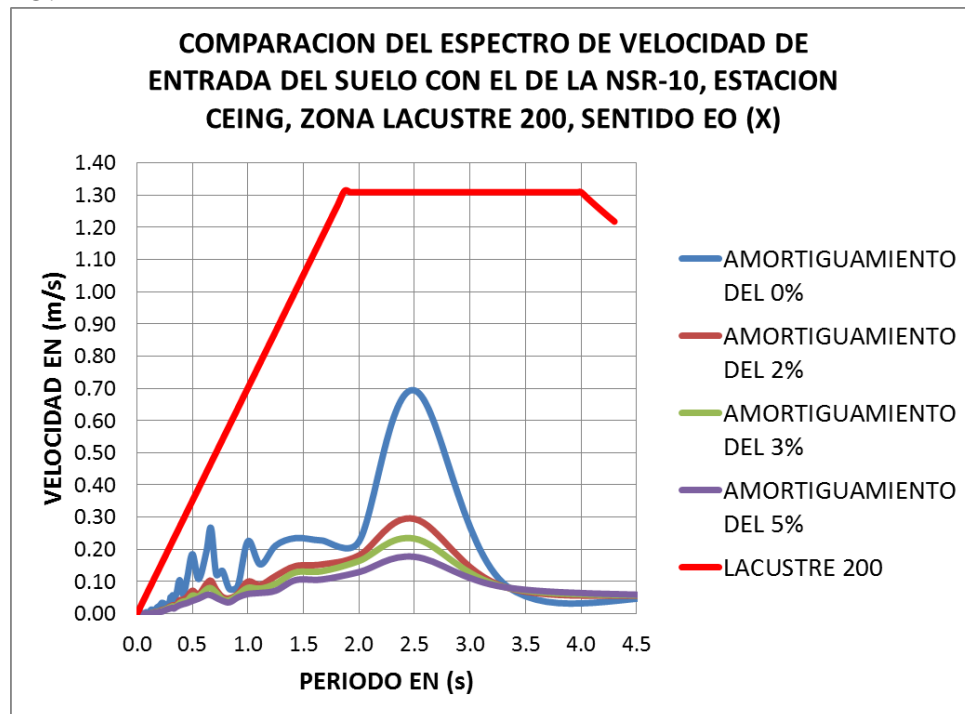
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CEING y NSR-10, sentido EO:

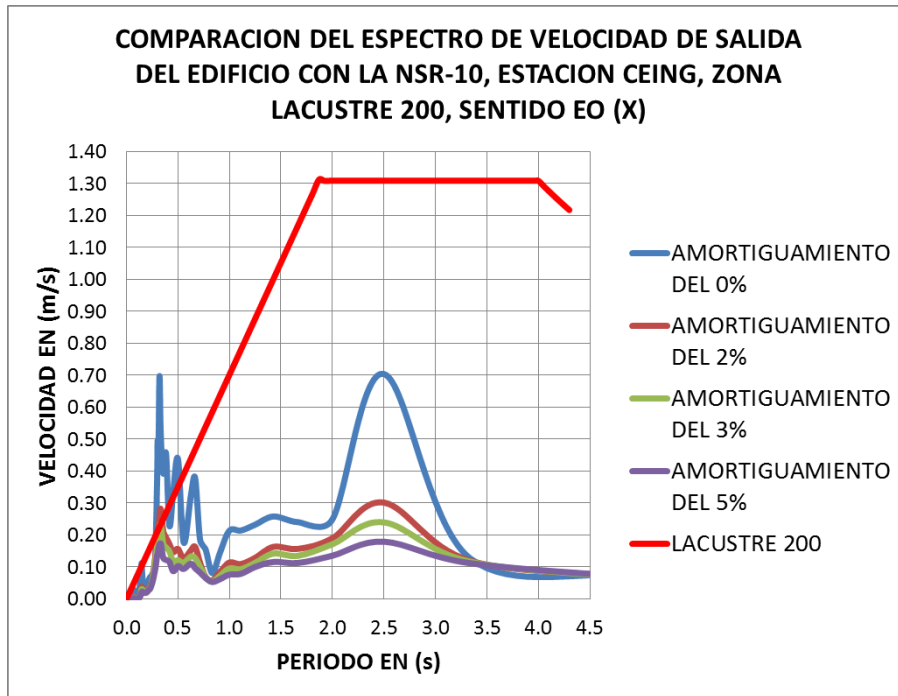


Fuente: Elaboración propia

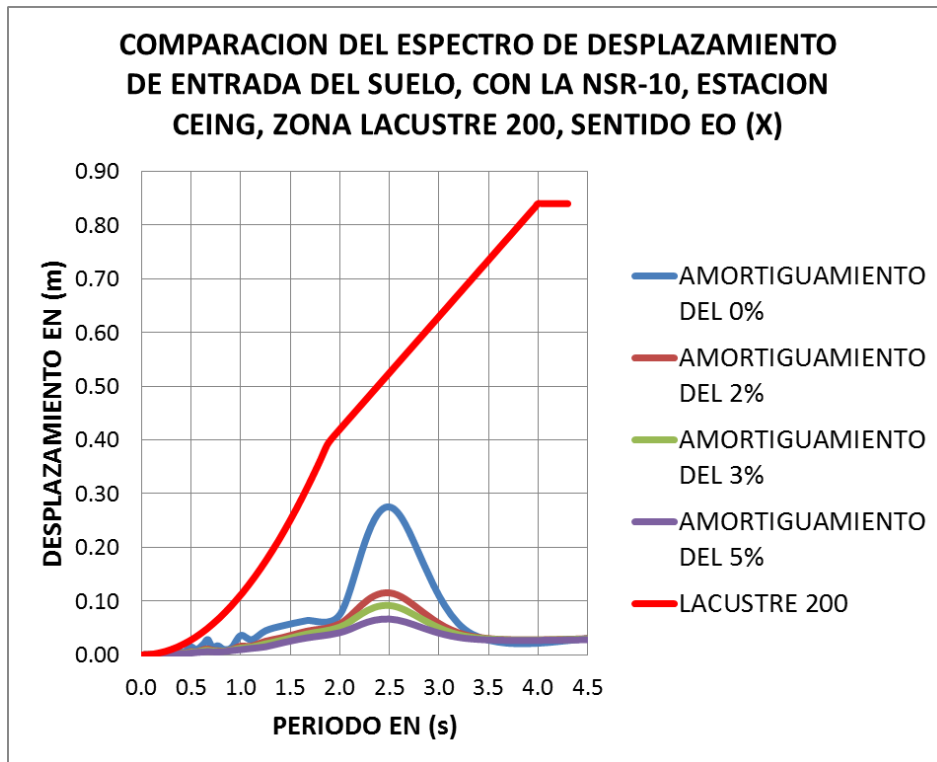


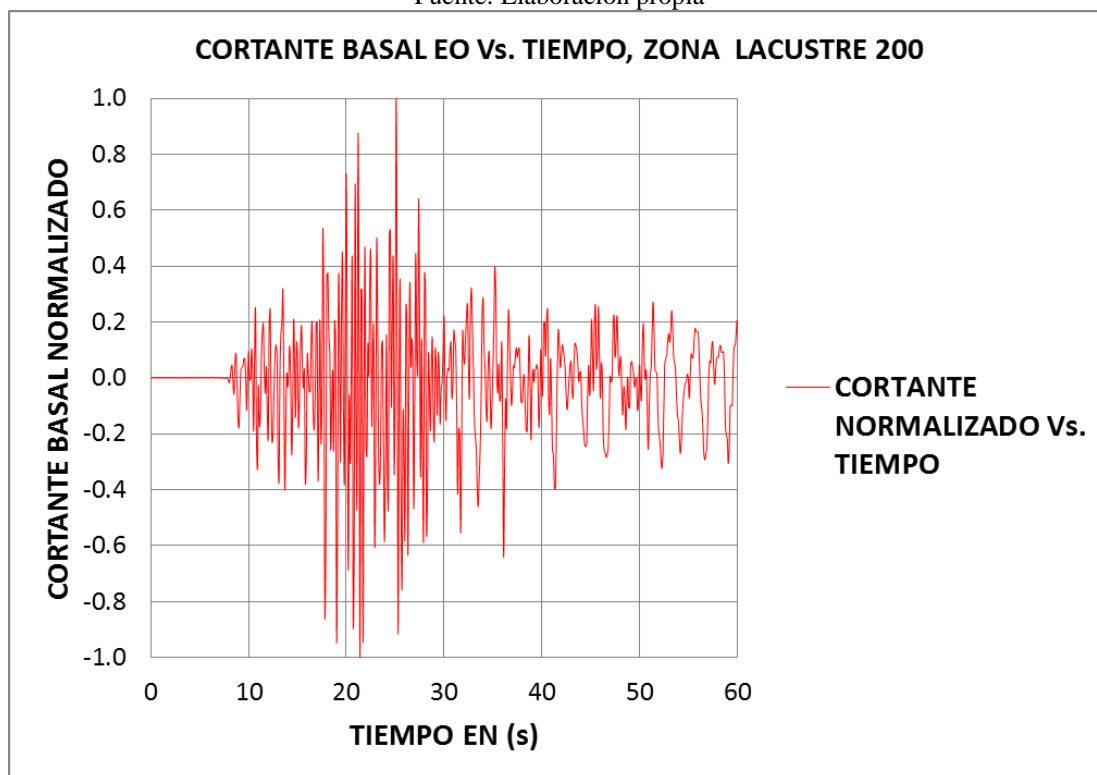
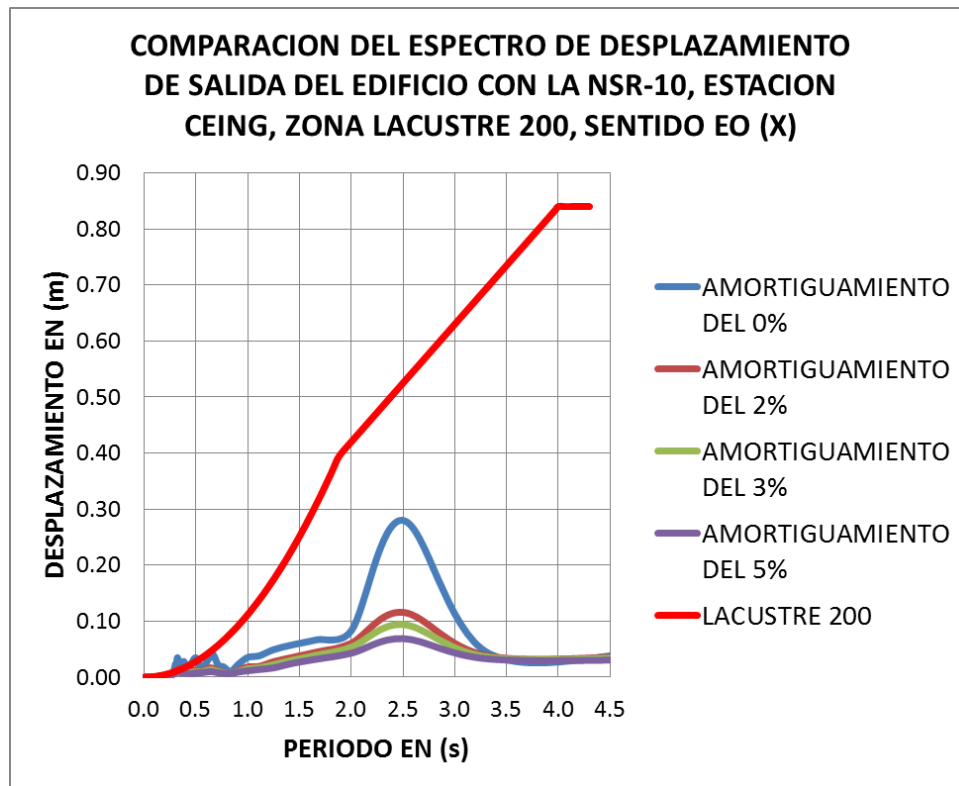
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CEING y NSR-10, sentido EO:





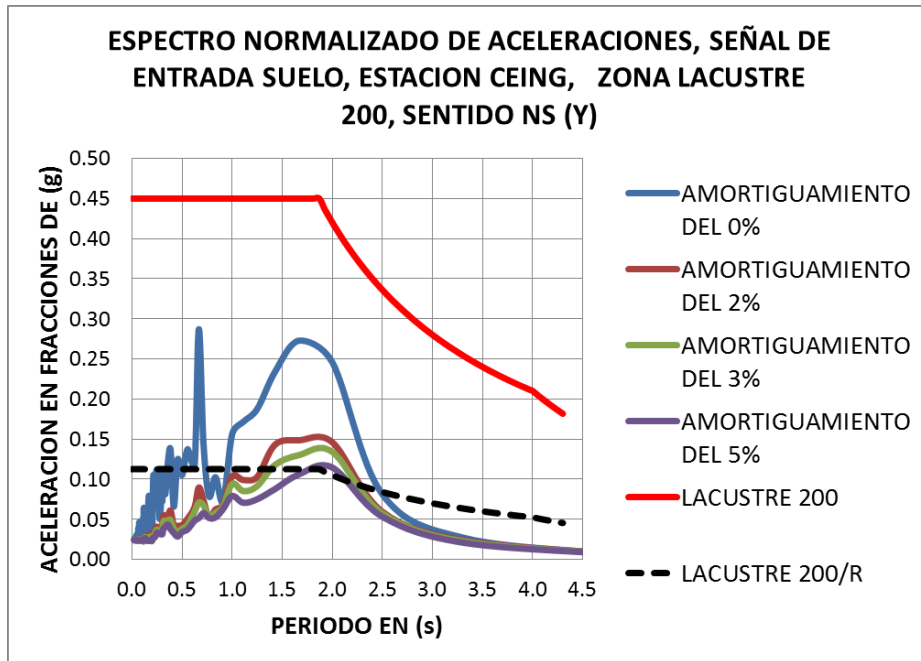
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CEING y NSR-10, sentido EO:



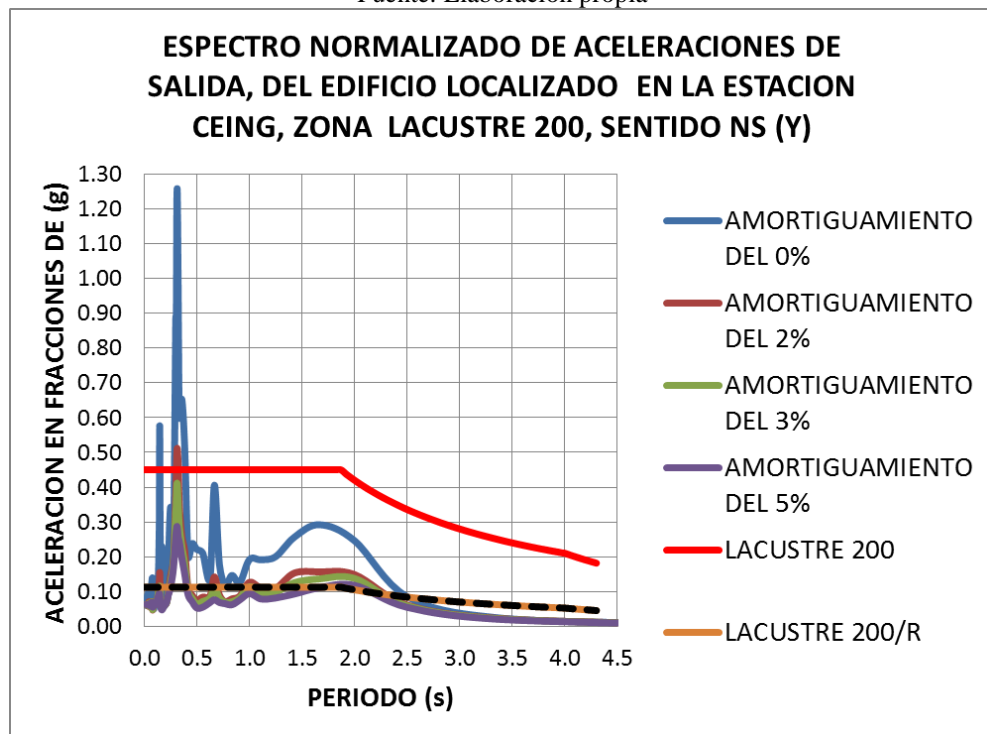


ESTACION CEING, LACUSTRE 200, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CEING y NSR-10, sentido NS:

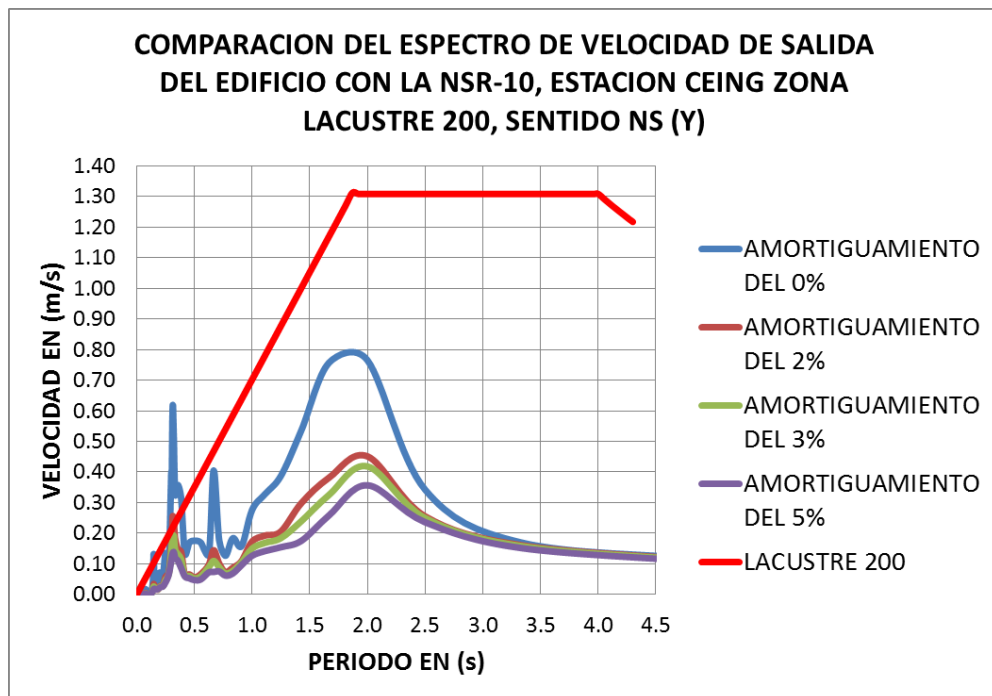
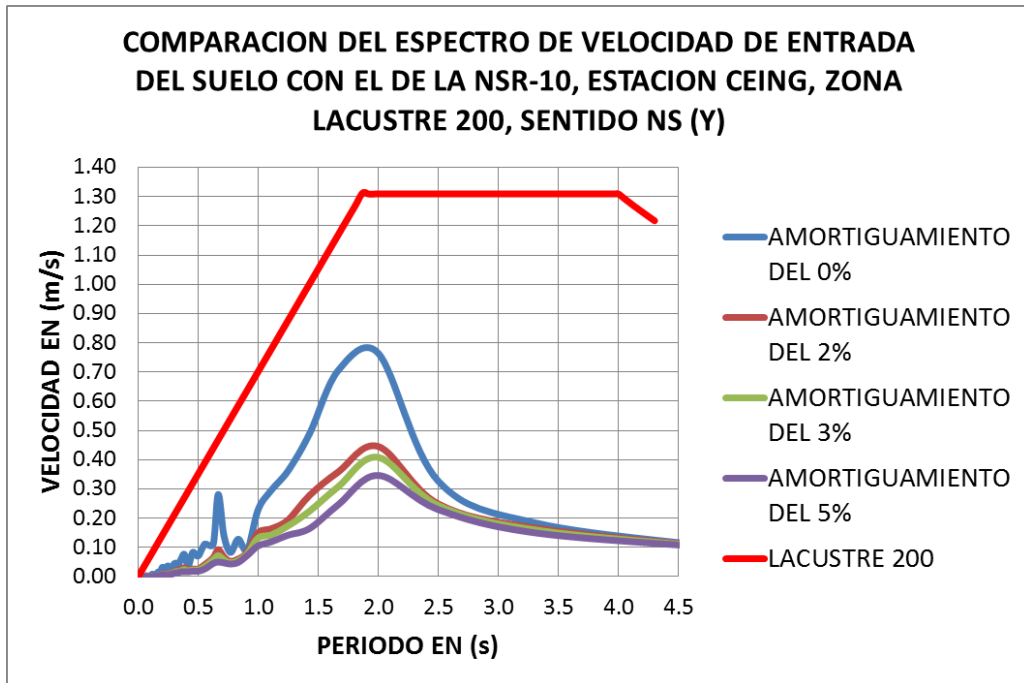


Fuente: Elaboración propia

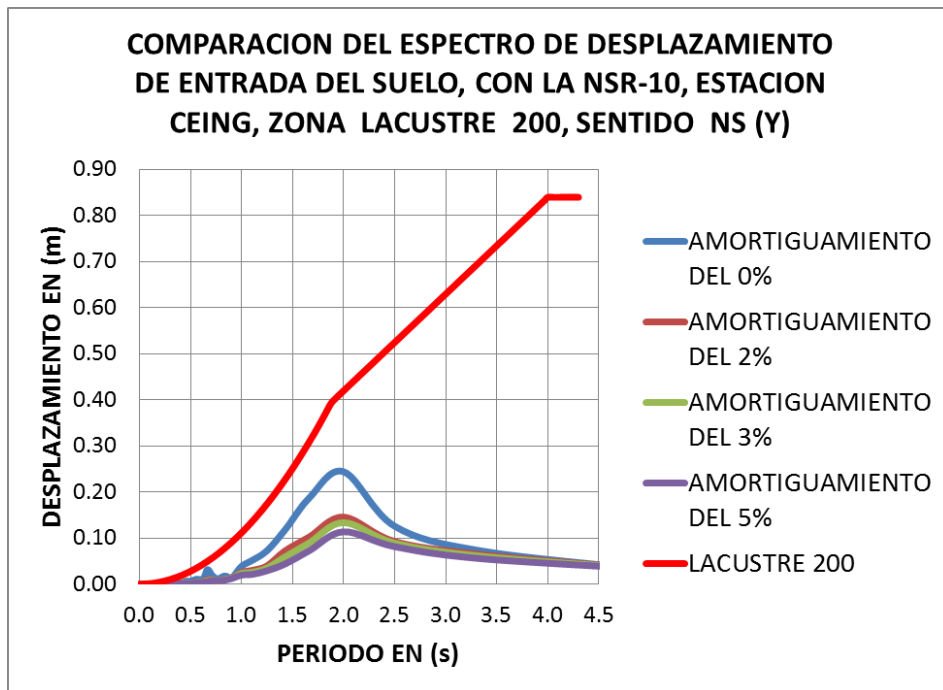


Fuente: Elaboración propia

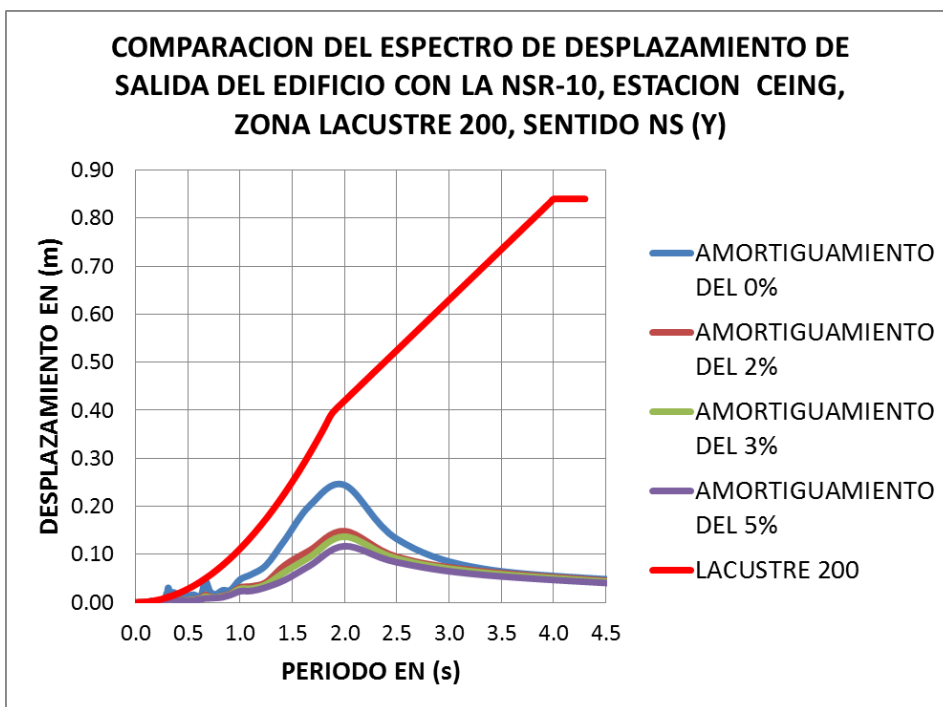
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CEING y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CEING y NSR-10, sentido NS:

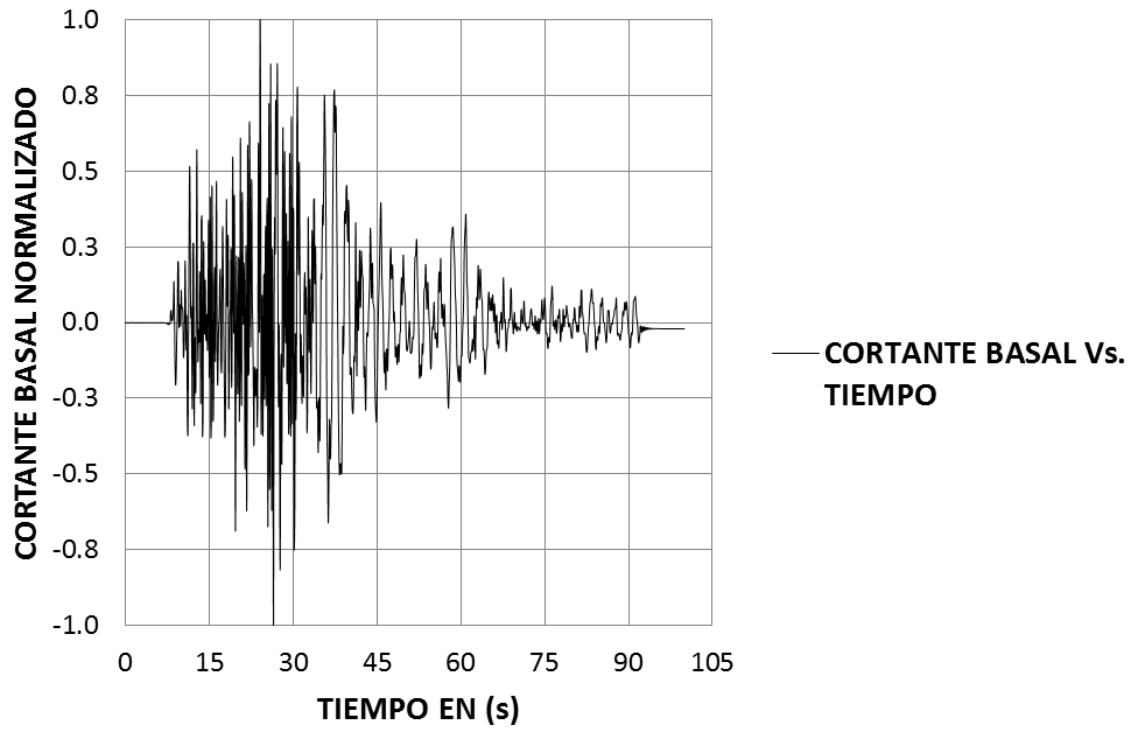


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA LACUSTRE 200

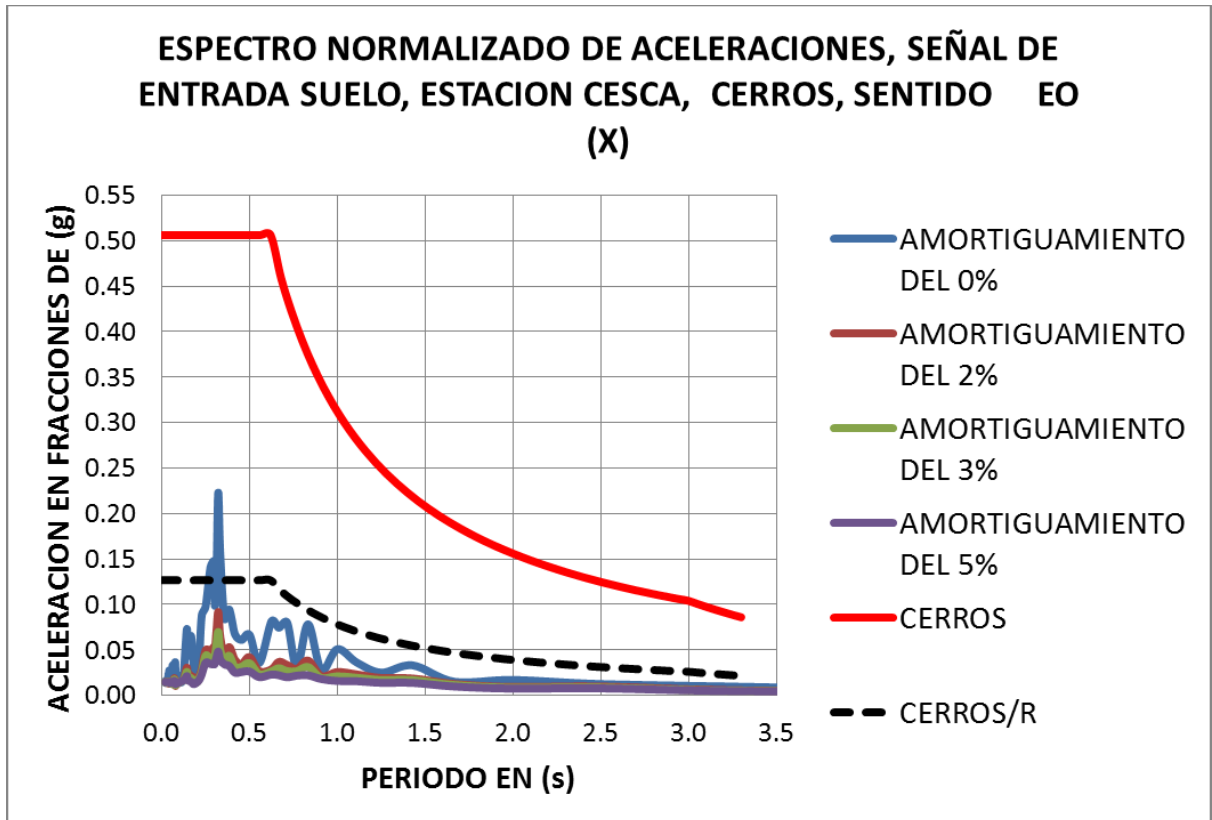


Fuente: Elaboración propia

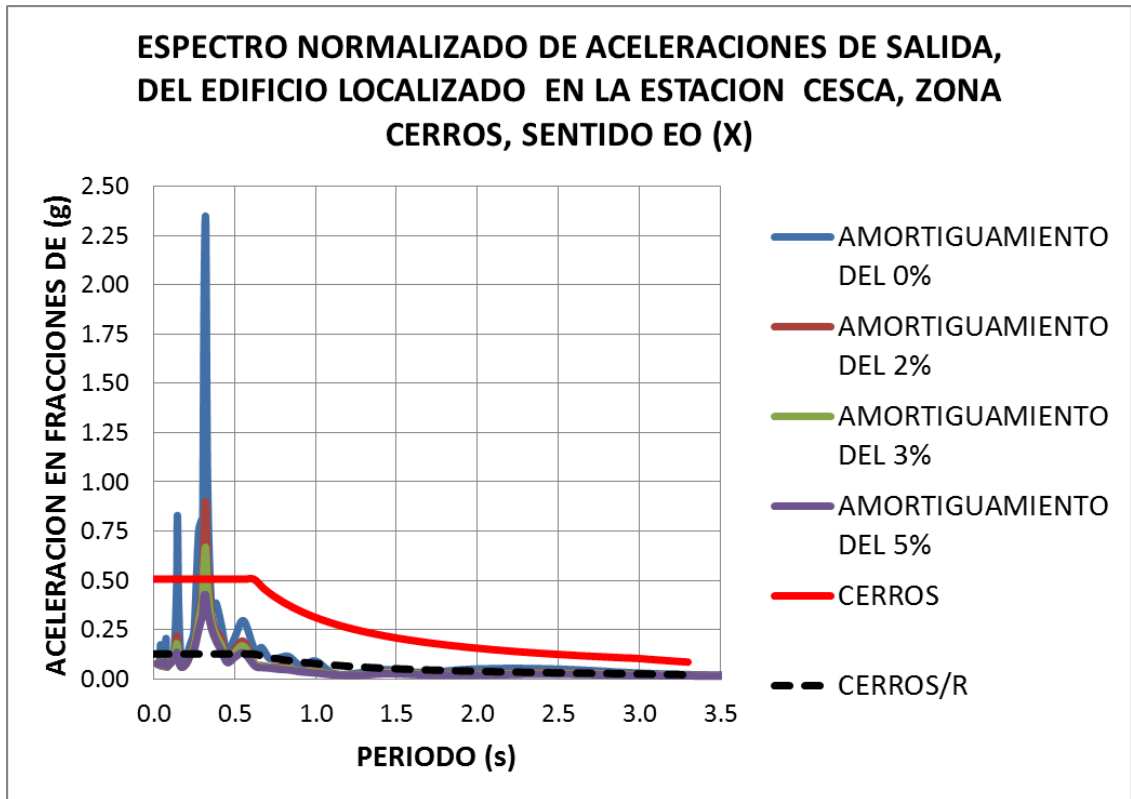
- 10) **Estación Escuela de Caballería:** El código en la RAB es CESCO, ubicada en la Cr. 7 con Calle 106. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **CERROS** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CESCO, CERROS, SENTIDO EO (X):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CESCO y NSR-10, sentido EO:

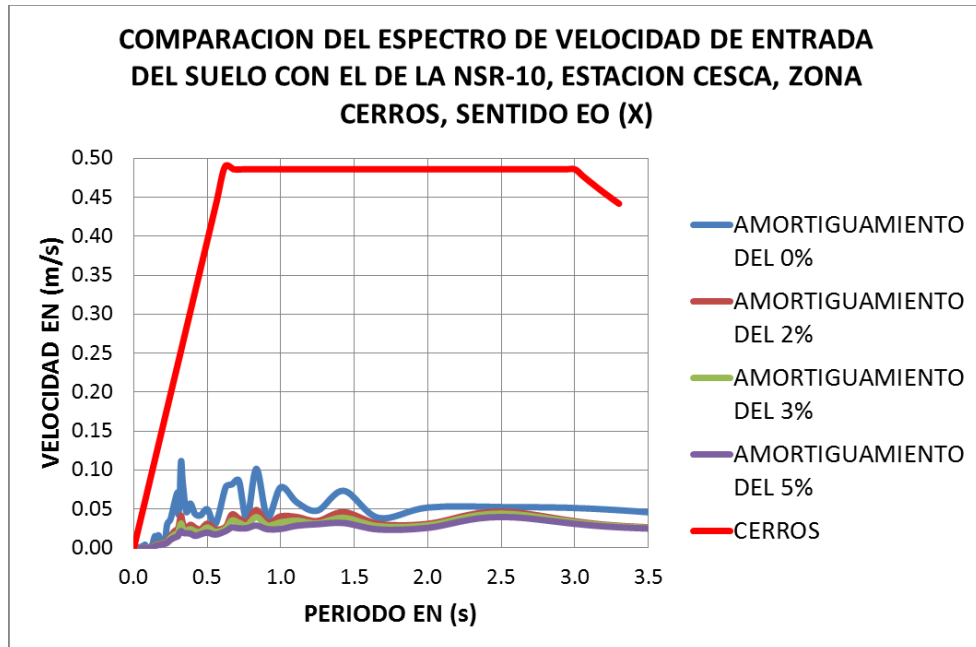


Fuente: Elaboración propia

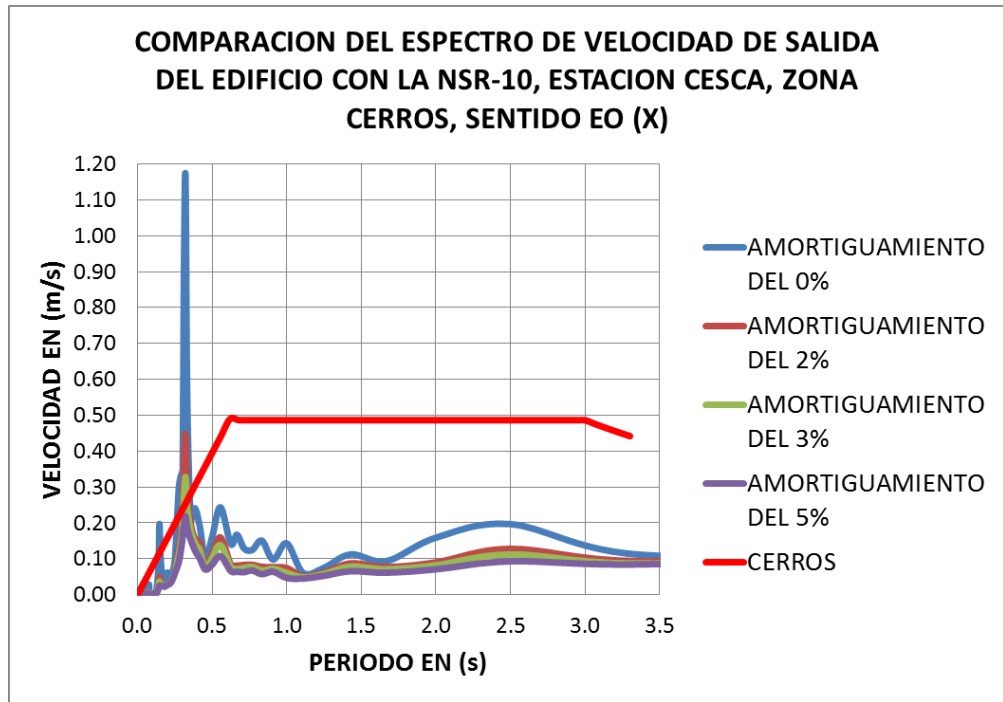


Fuente: Elaboración propia

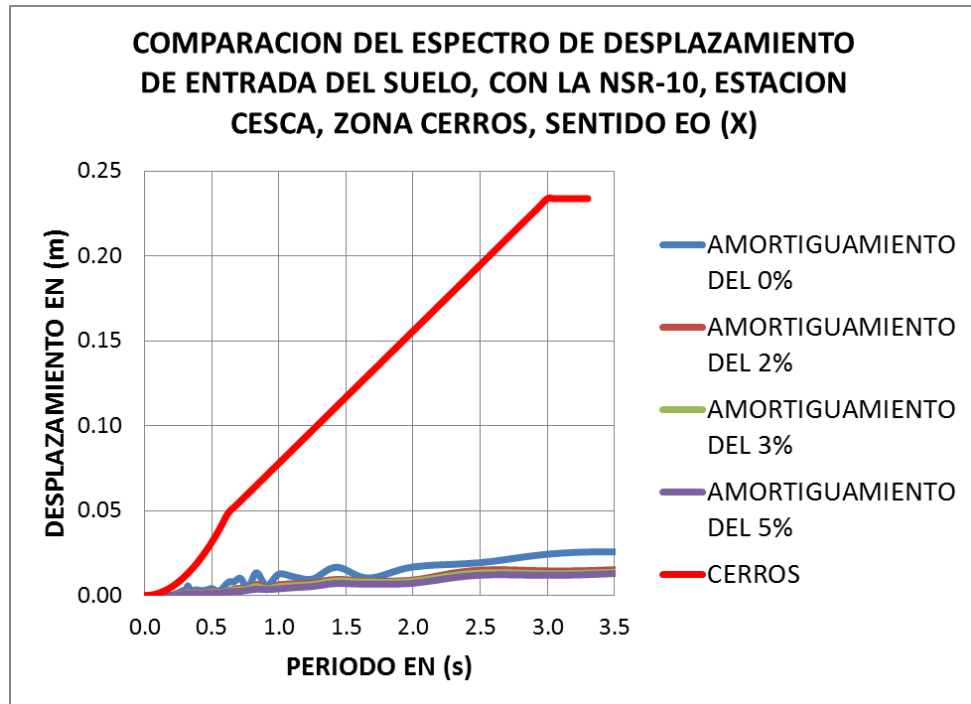
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CESCA y NSR-10, sentido EO:

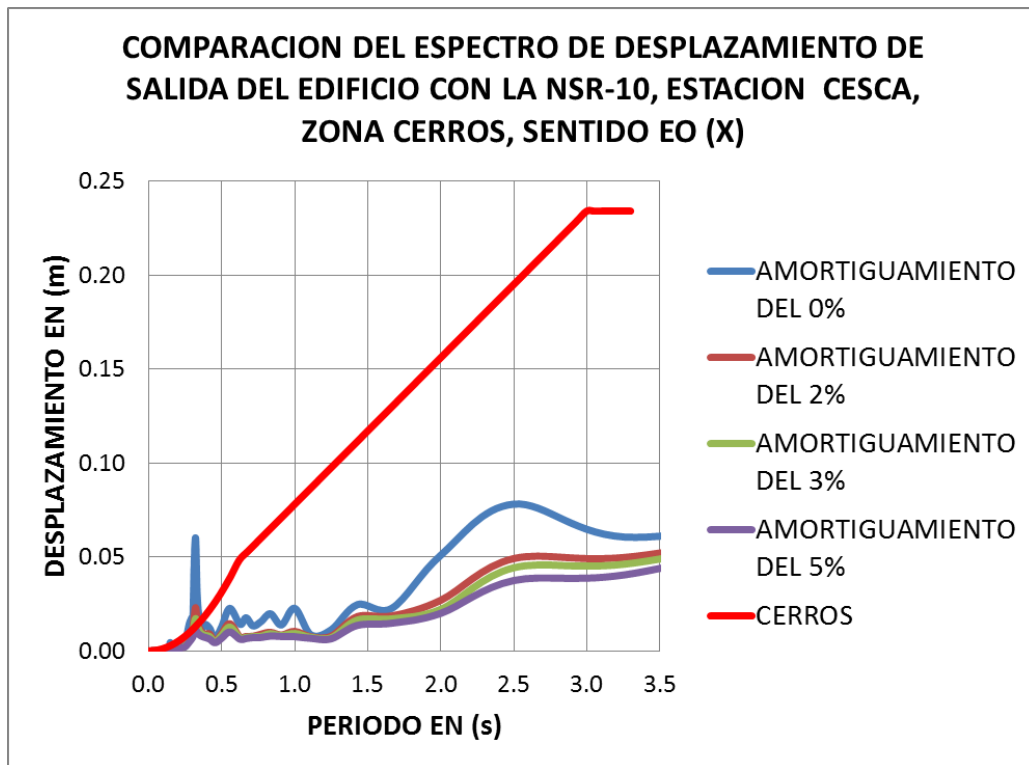


Fuente: Elaboración propia

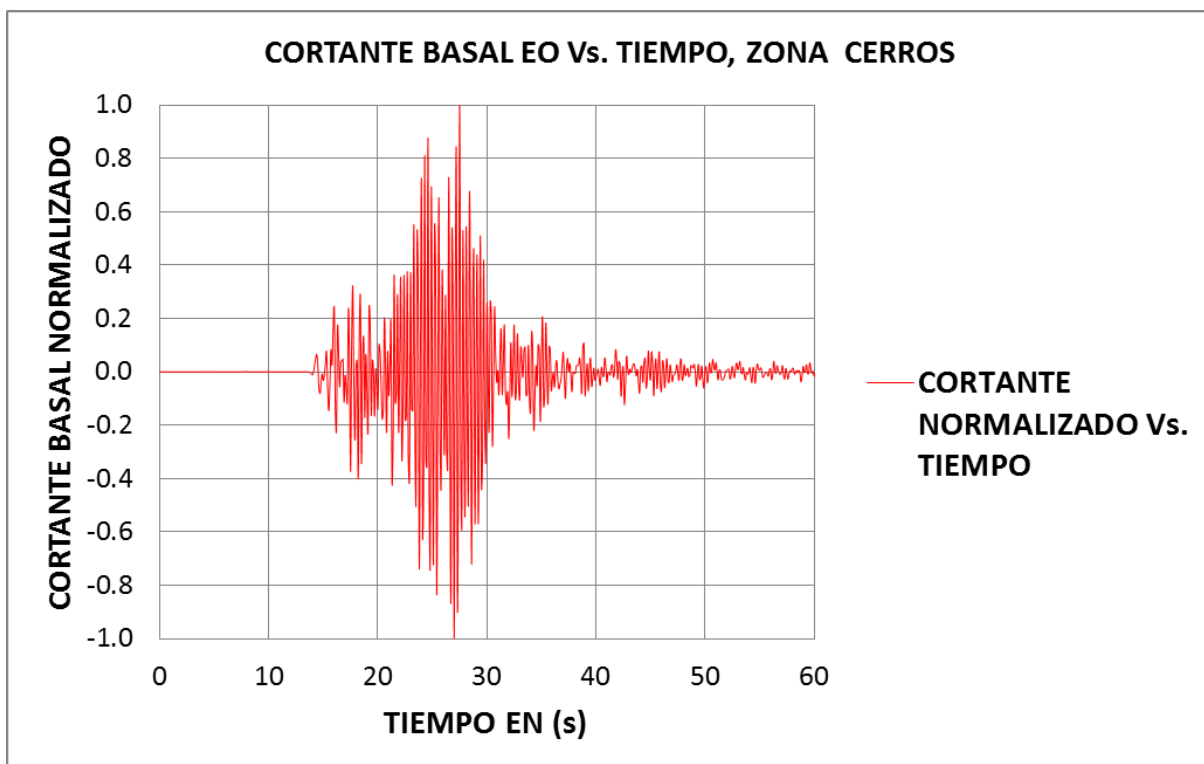


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CESCA y NSR-10, sentido EO:





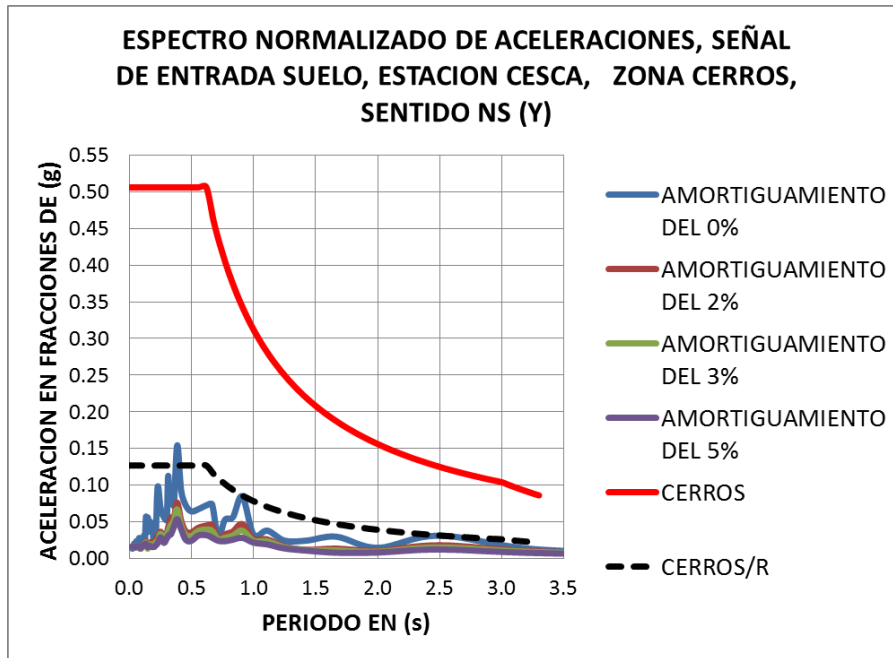
Fuente: Elaboración propia



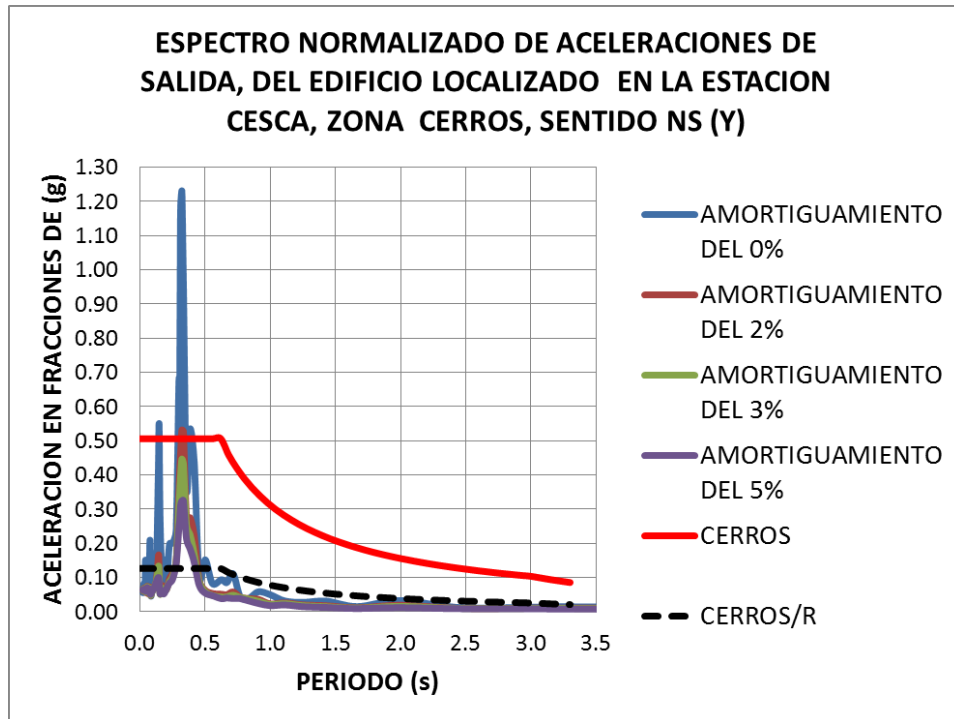
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CESCA, CERROS, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CESCA y NSR-10, sentido NS:

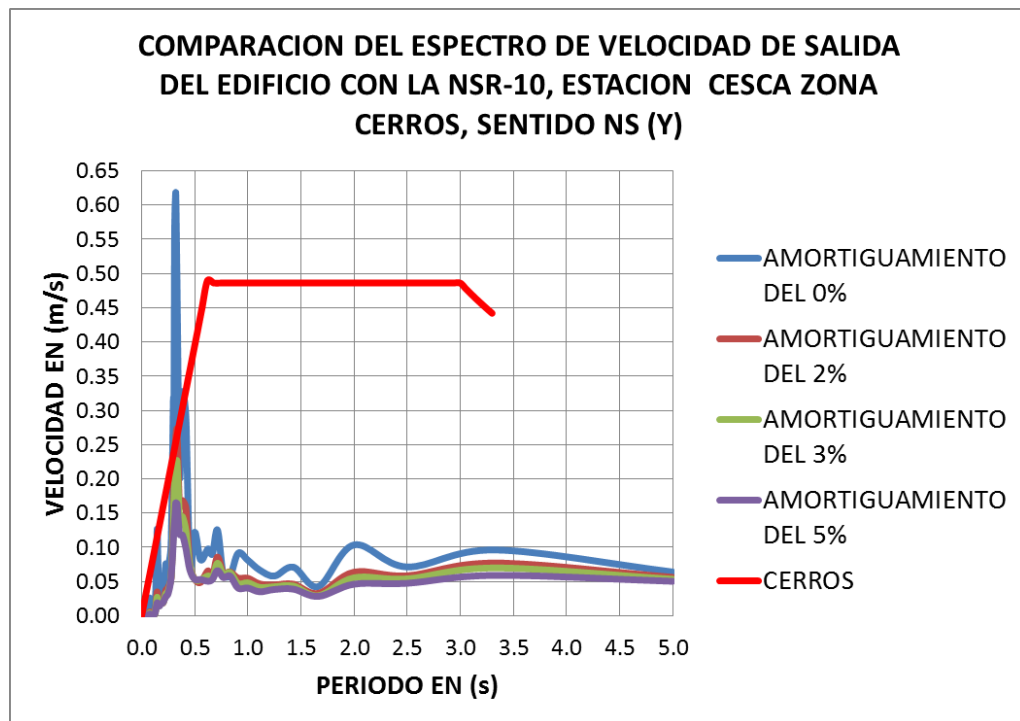
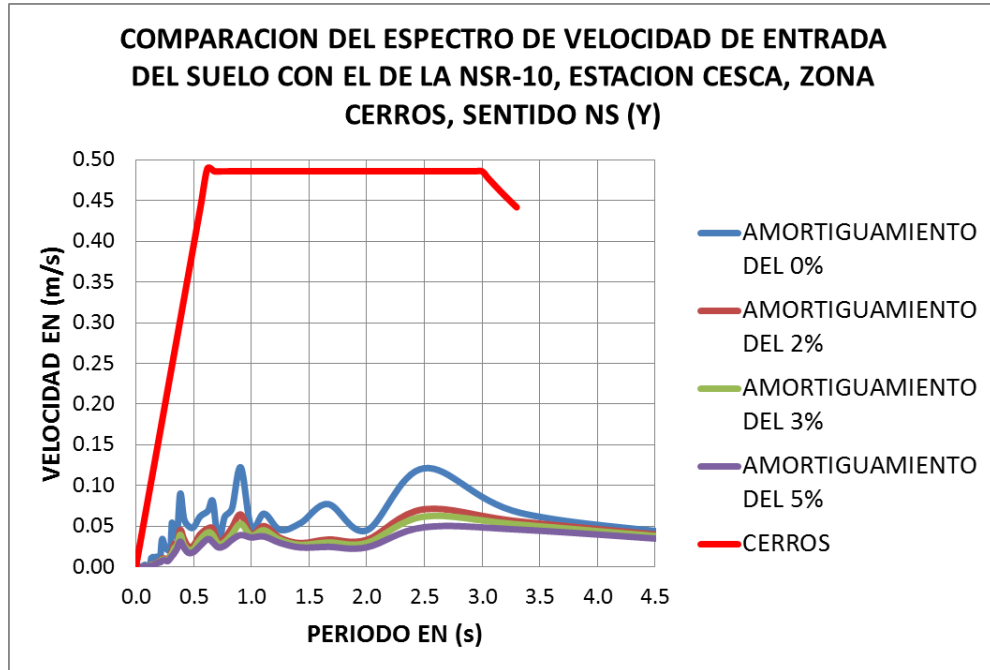


Fuente: Elaboración propia

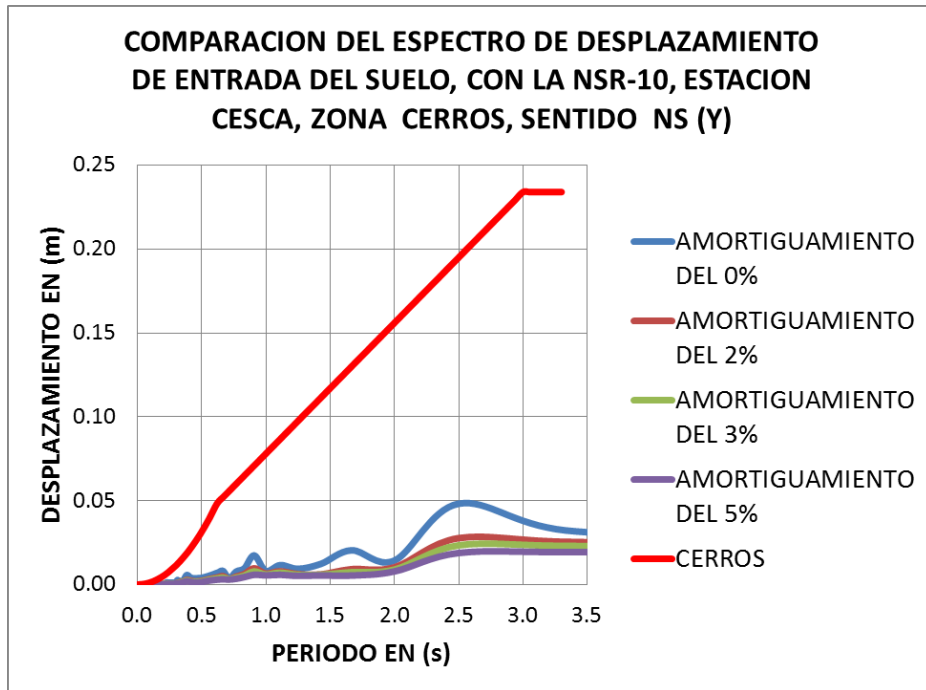


Fuente: Elaboración propia

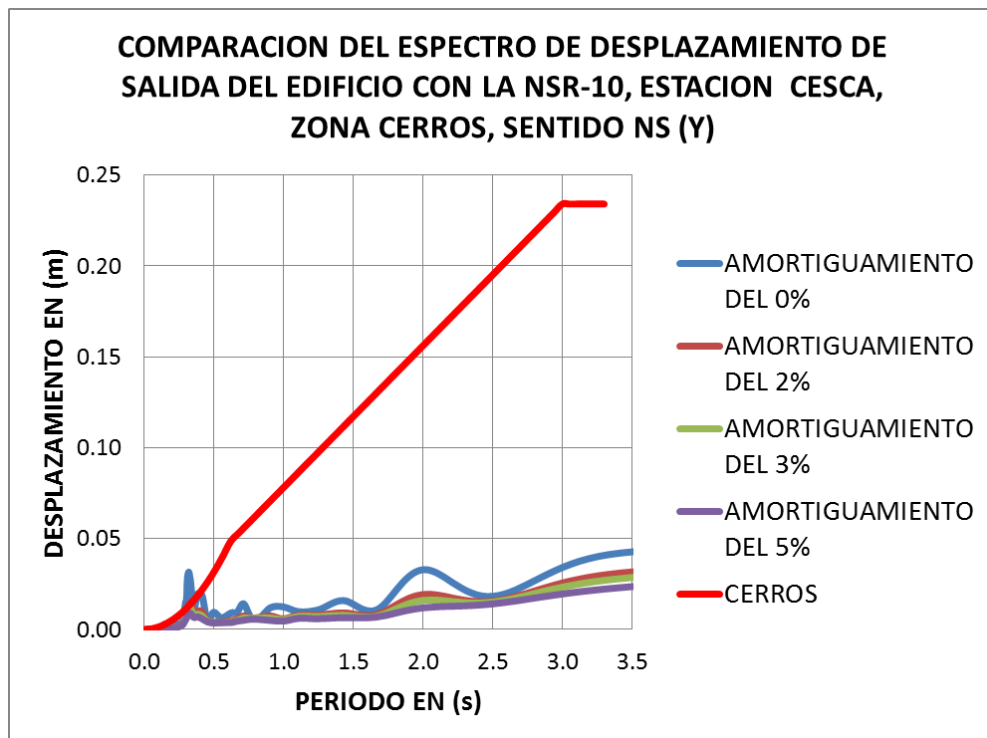
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CESCA y NSR-10, sentido NS:



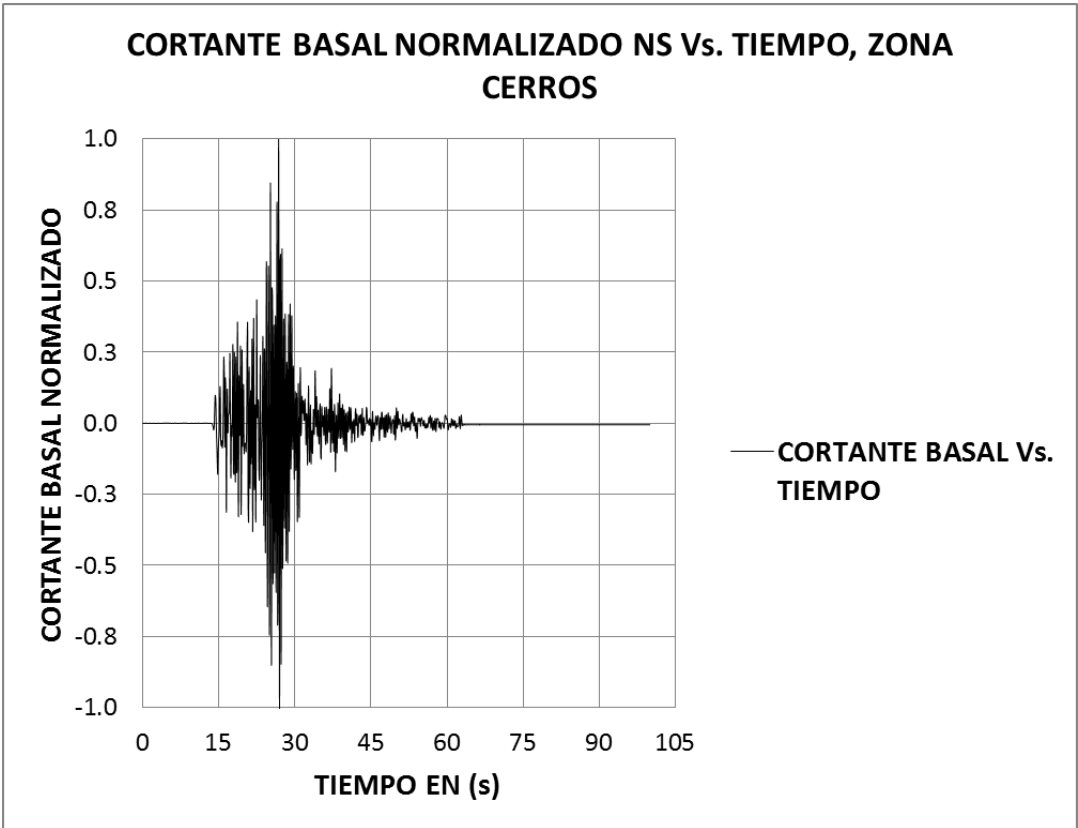
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CESCA y NSR-10, sentido NS:



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

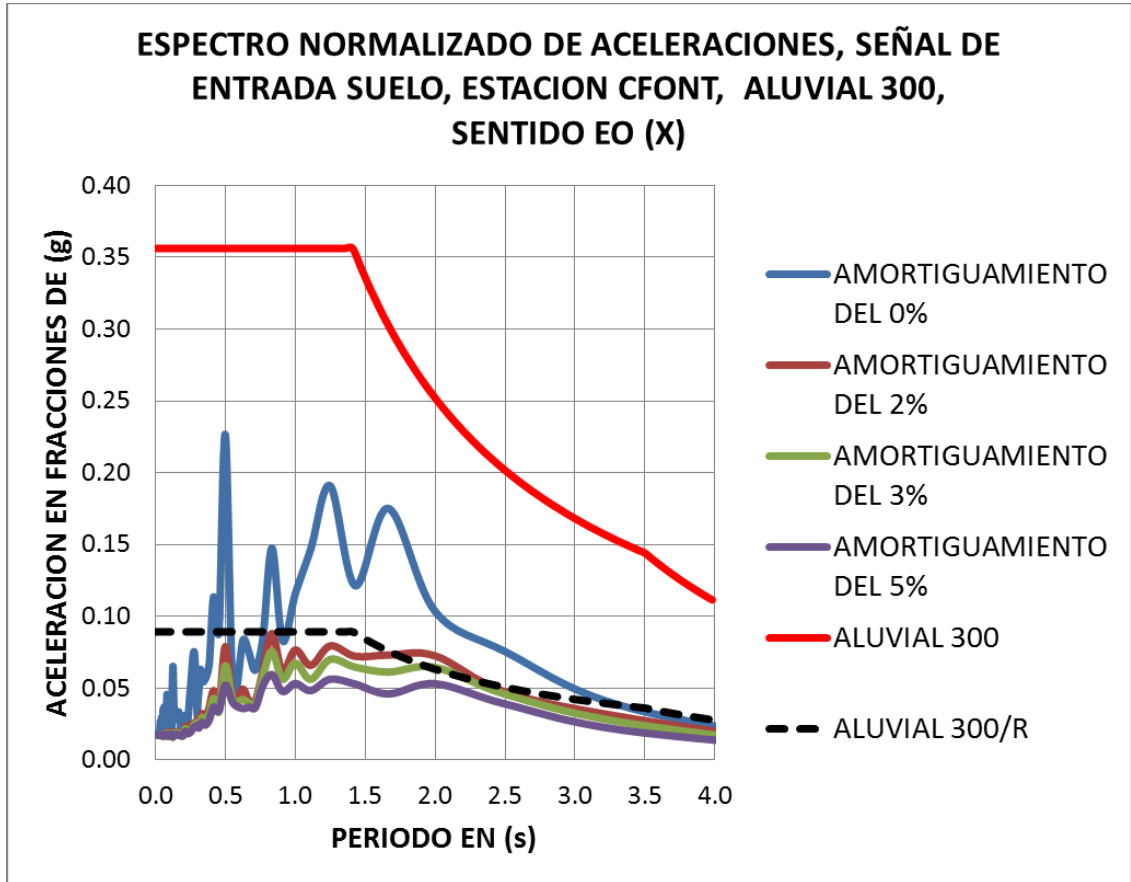


Fuente: Elaboración propia

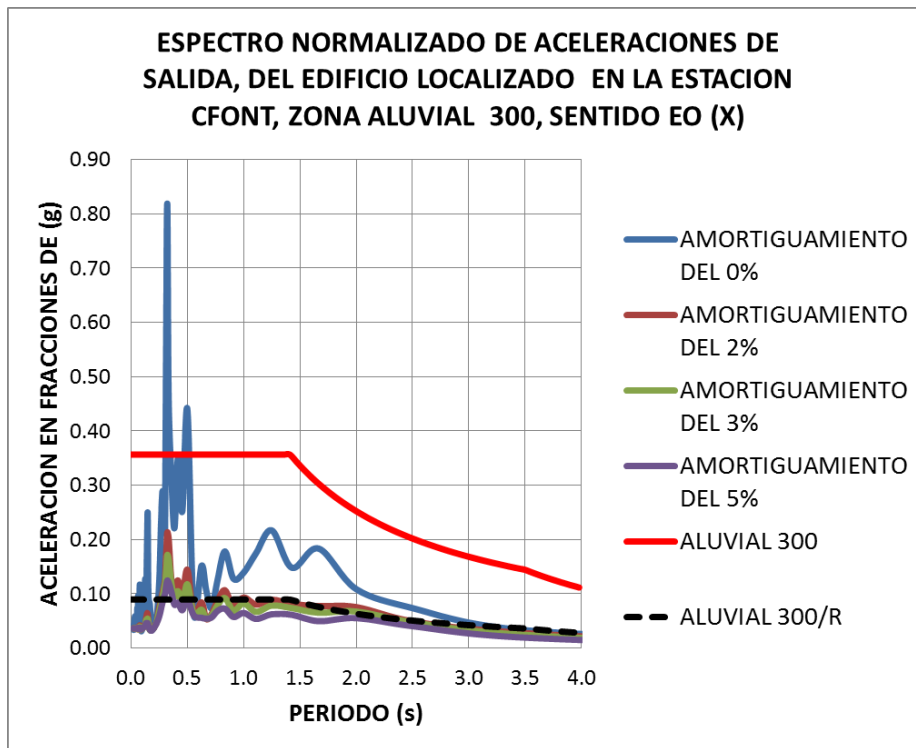
- 11) **Estación Fontibón:** El código en la RAB es CFONT, ubicada en la Calle 13 con Carrera 96. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **ALUVIAL 300** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CFONT, ALUVIAL 300, SENTIDO EO (X):

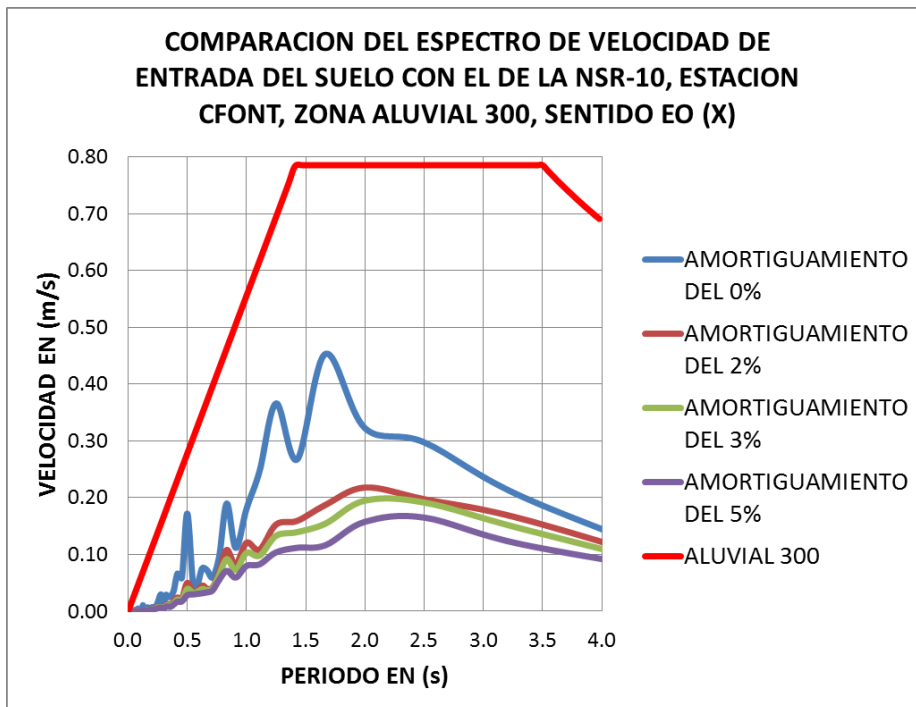
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CFONT y NSR-10, sentido EO:

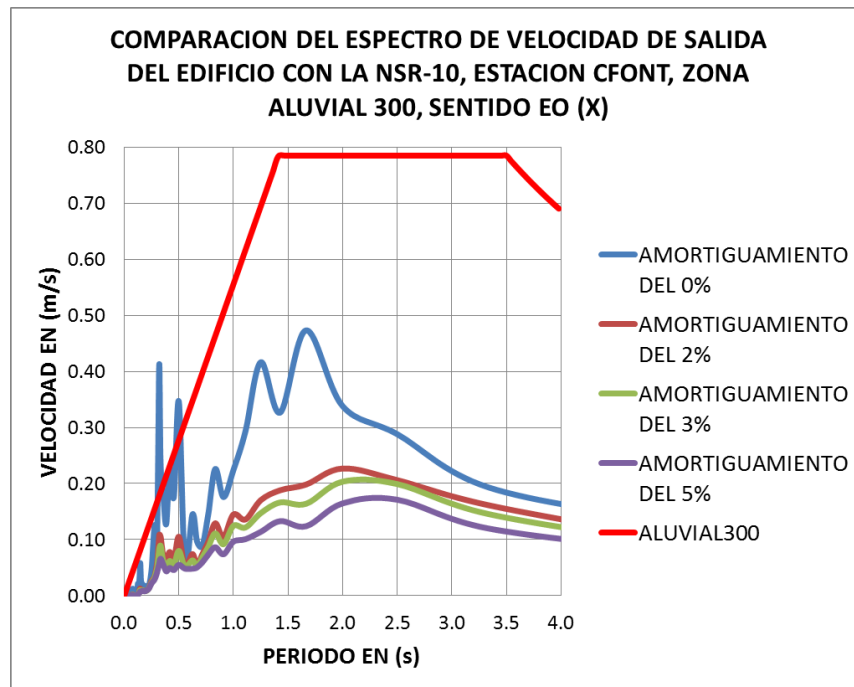


Fuente: Elaboración propia

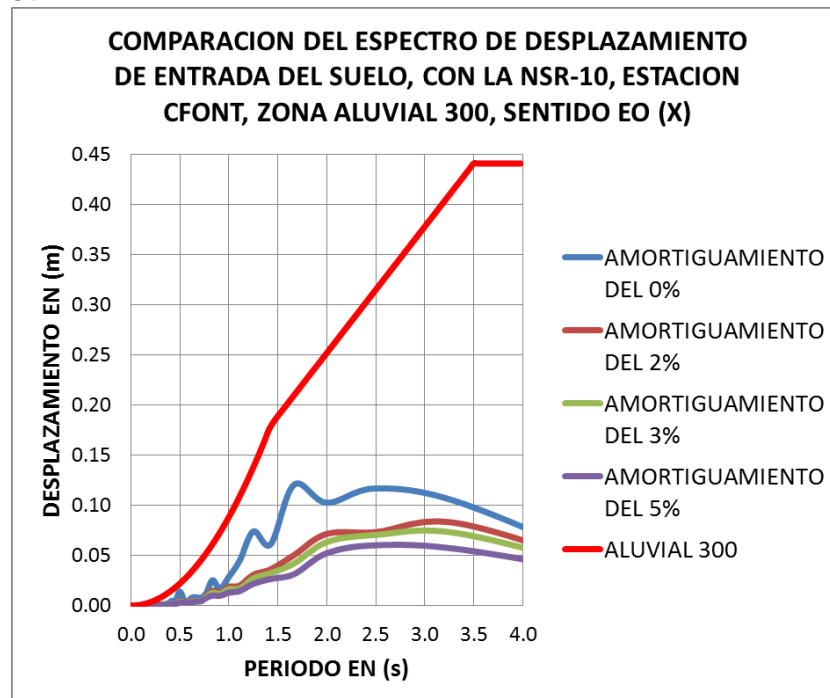


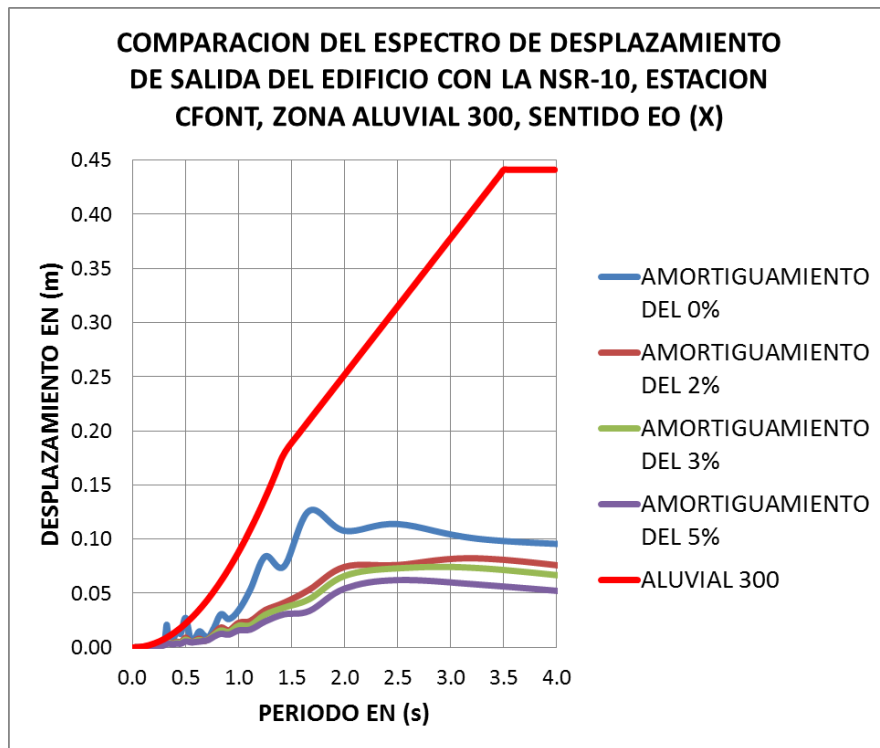
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CFONT y NSR-10, sentido EO:



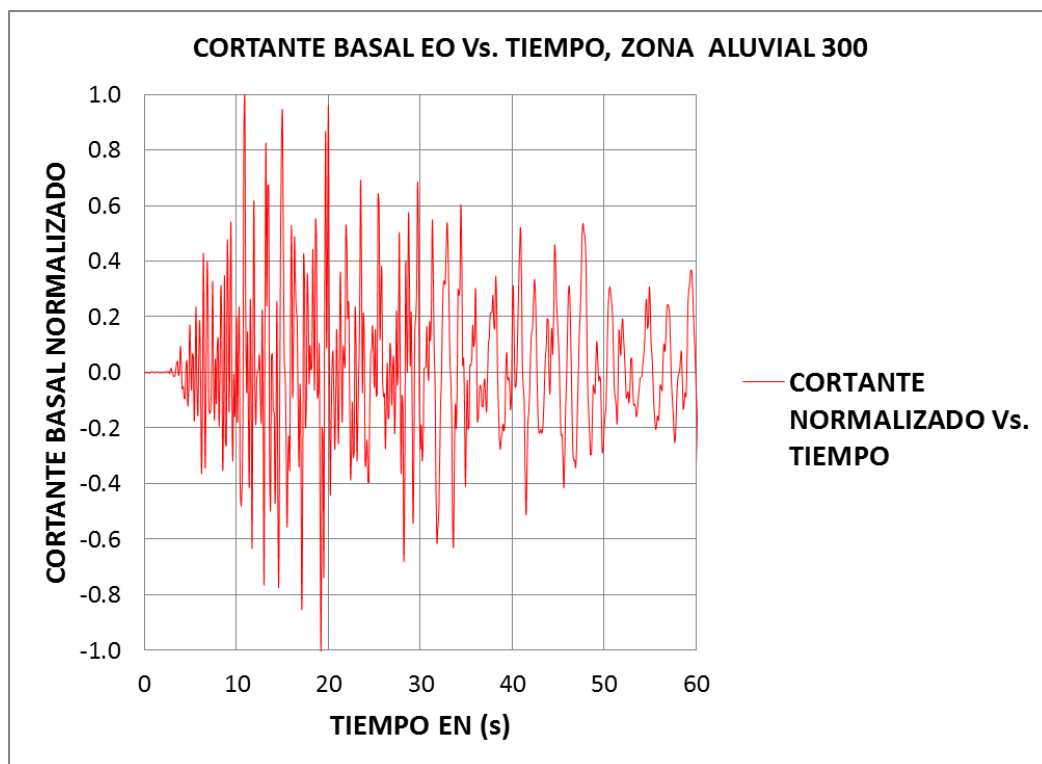


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CFONT y NSR-10, sentido EO:





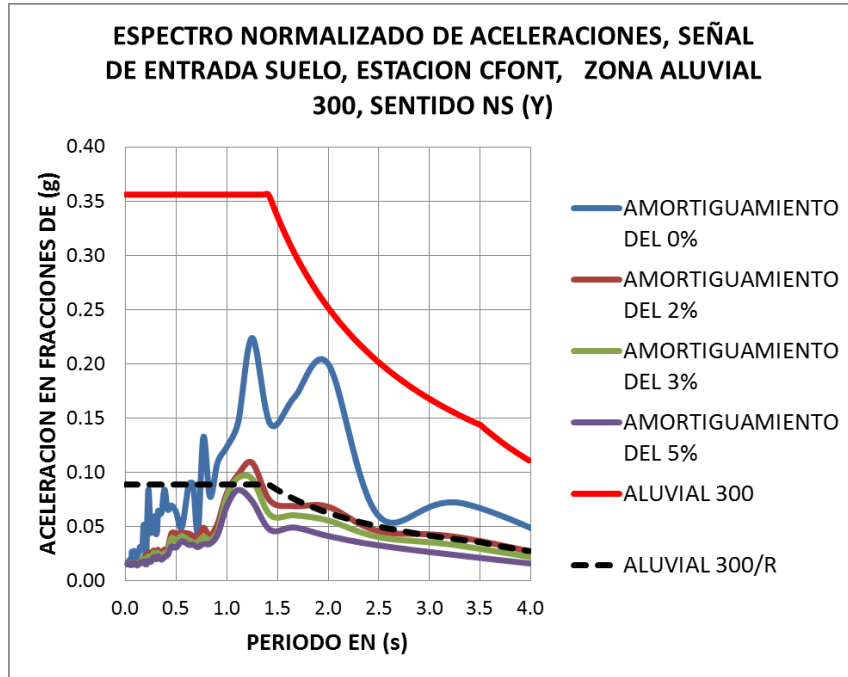
Fuente: Elaboración propia



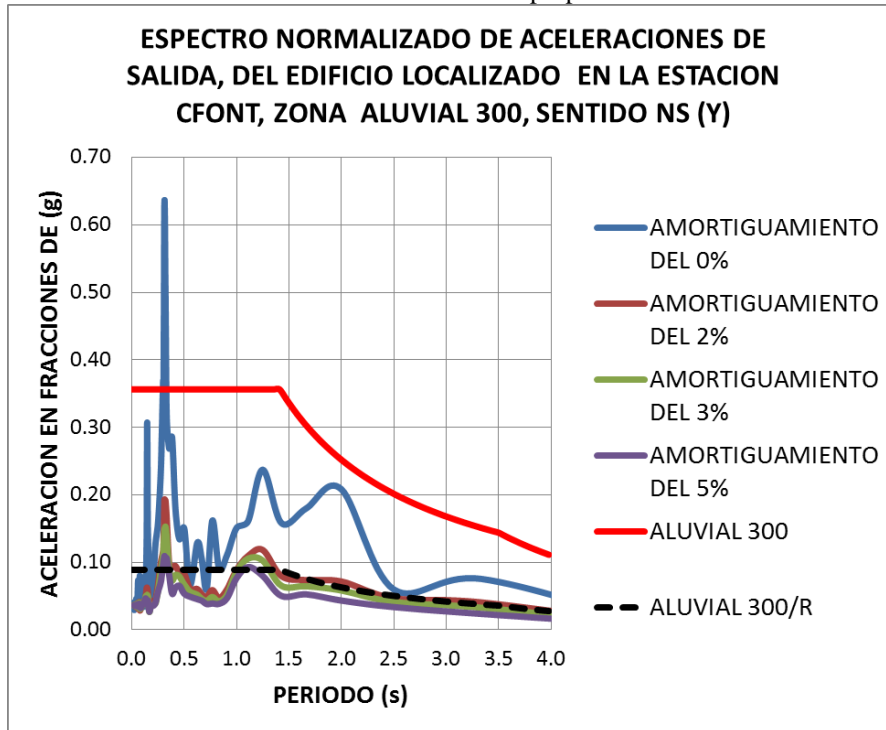
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CFONT, ALUVIAL 300, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CFONT y NSR-10, sentido NS:

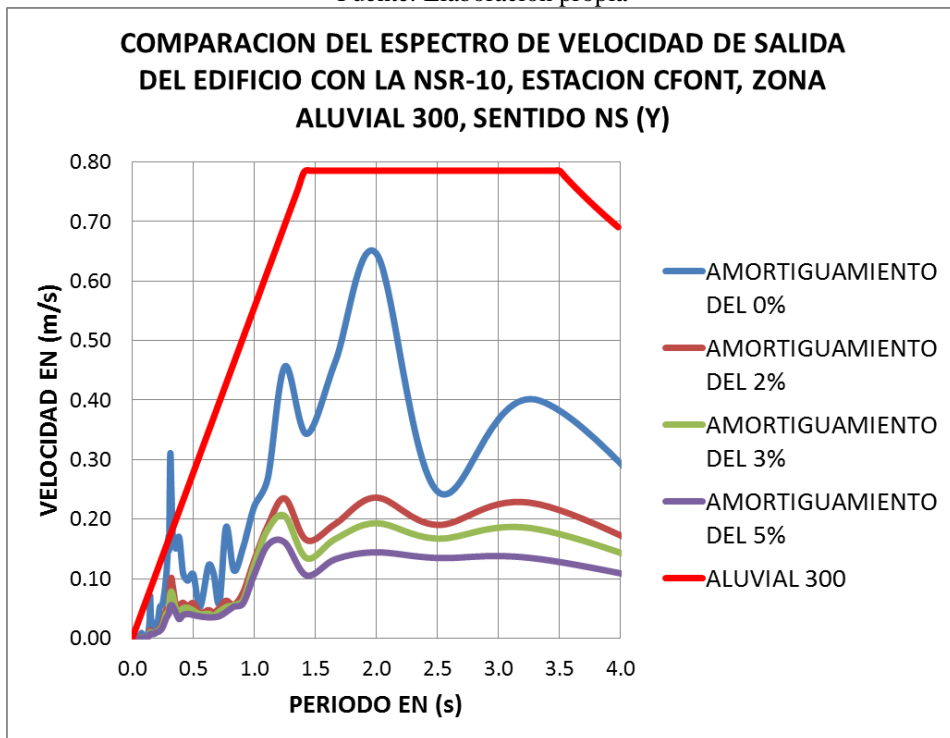
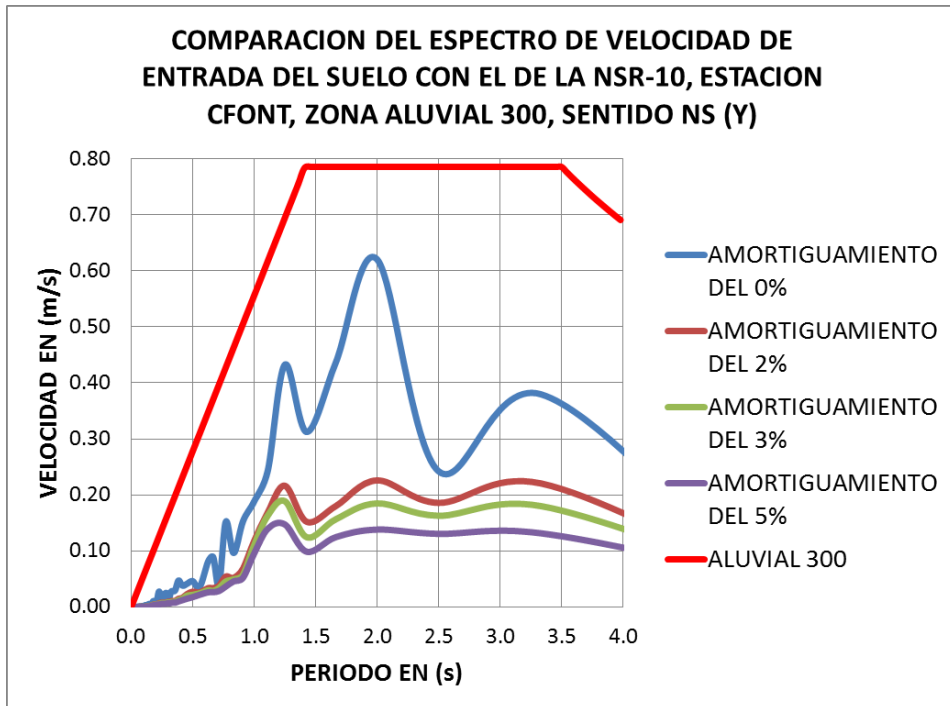


Fuente: Elaboración propia

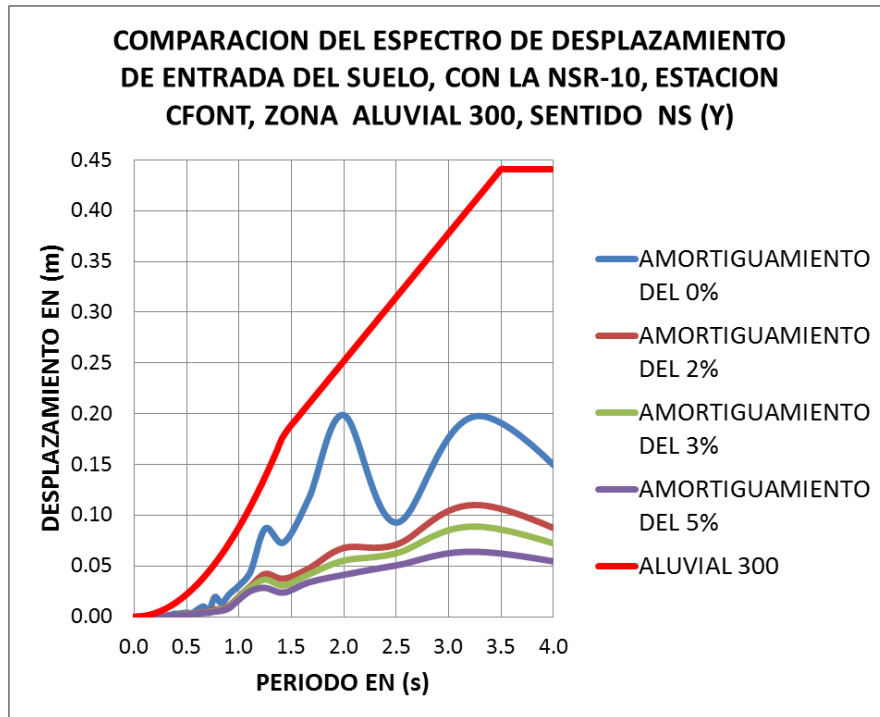


Fuente: Elaboración propia

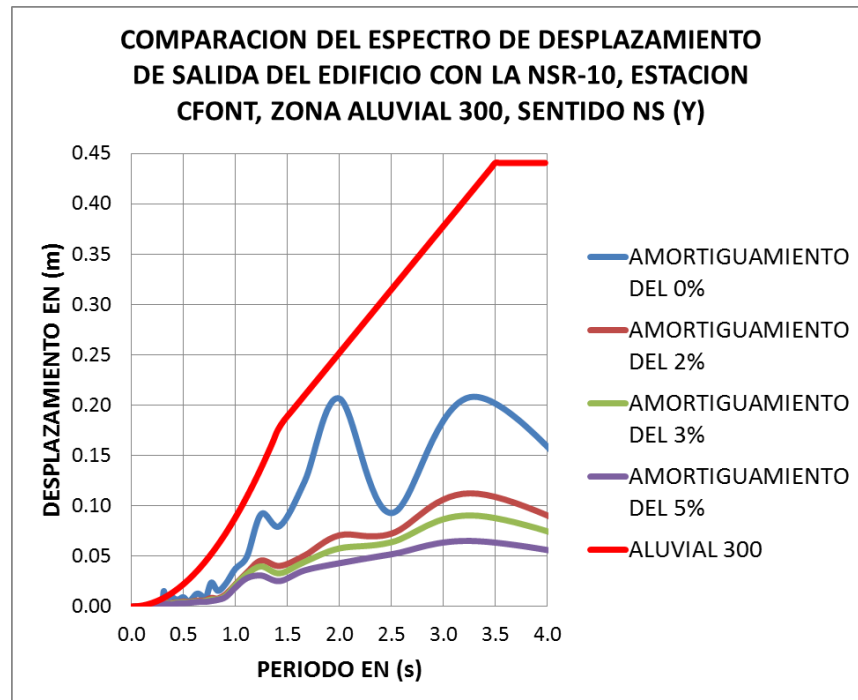
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CFONT y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CFONT y NSR-10, sentido NS:

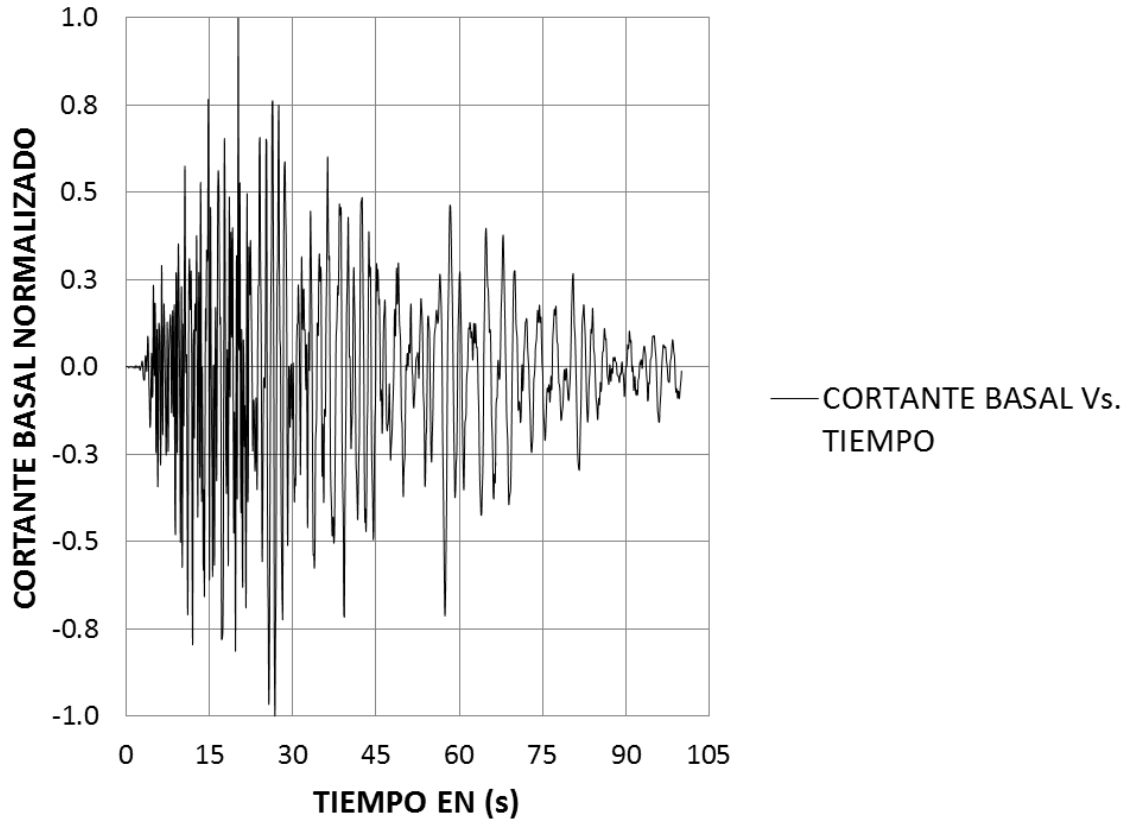


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA ALUVIAL 300

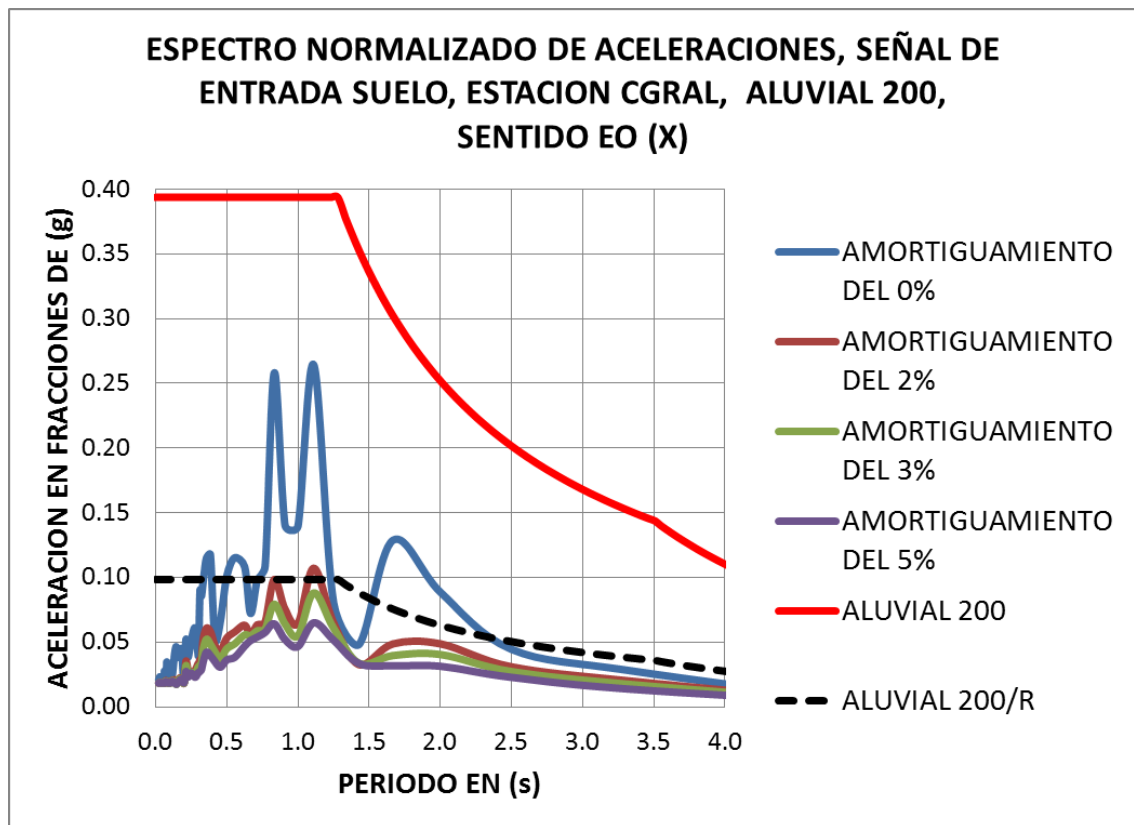


Fuente: Elaboración propia

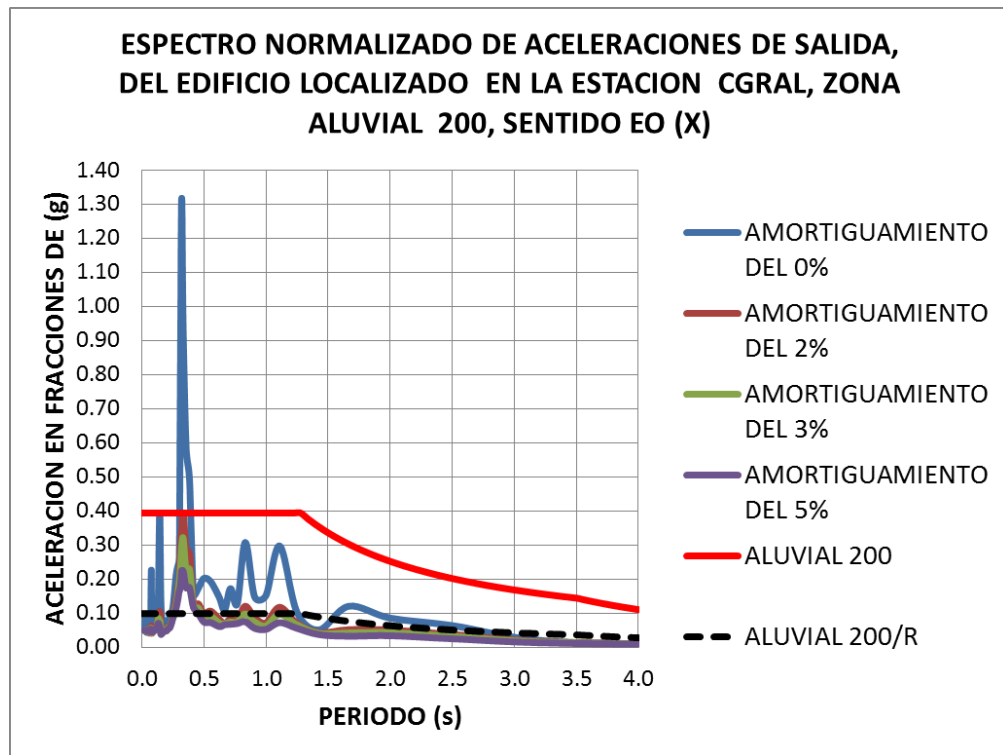
12) **Estación Escuela General Santander:** El código en la RAB es CGRAL, ubicada en la Calle 44 Sur # 45 A -15. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **ALUVIAL 200** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CGRAL, ALUVIAL 200, SENTIDO EO (X):

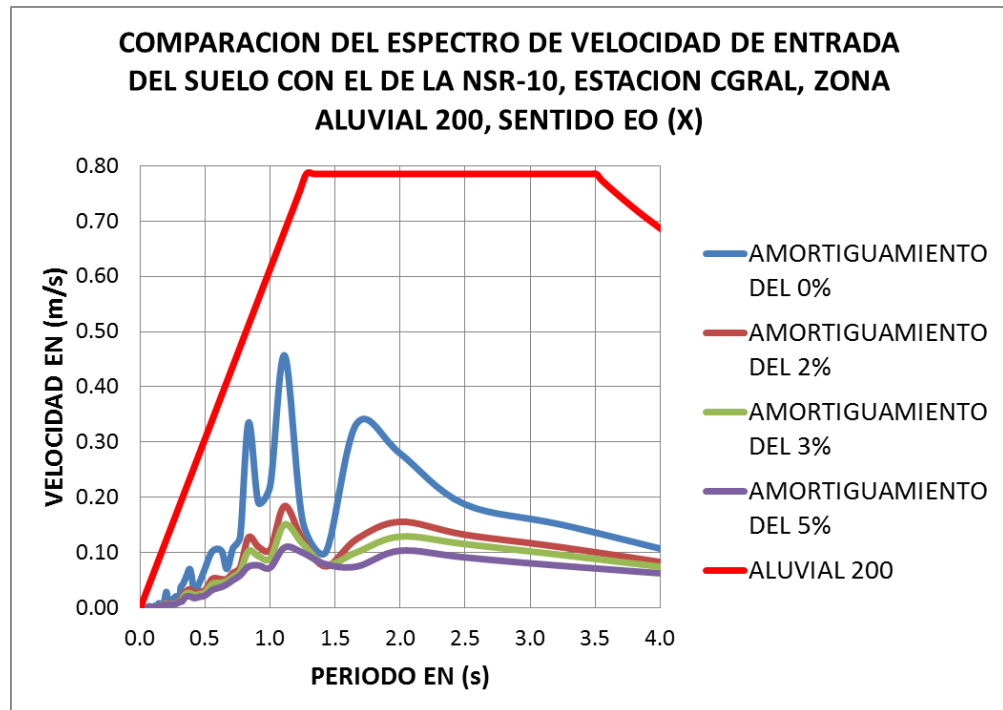
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CGRAL y NSR-10, sentido EO:

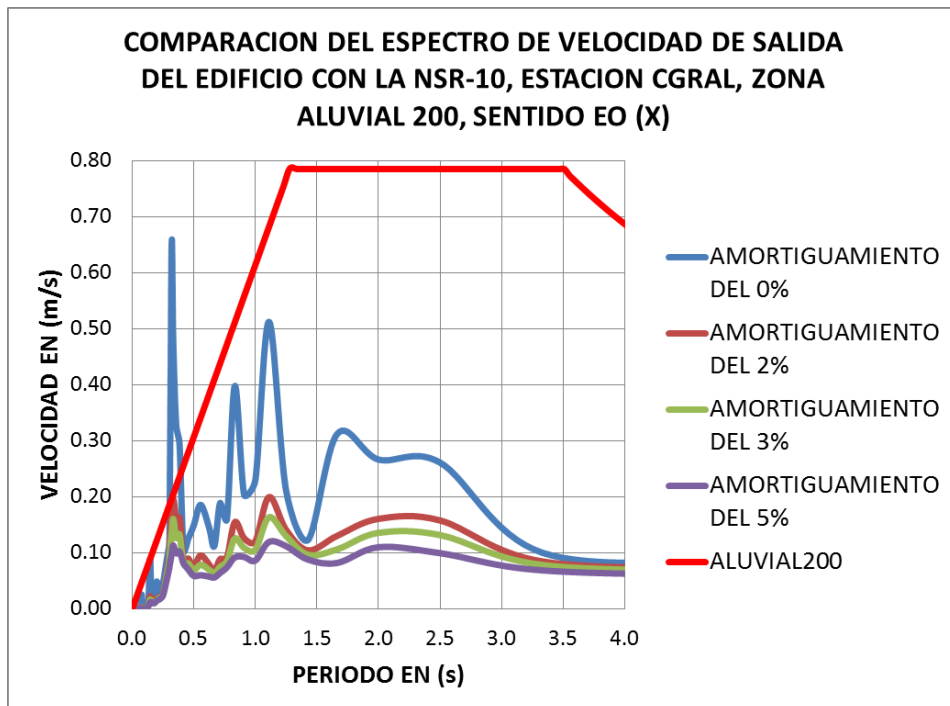


Fuente: Elaboración propia

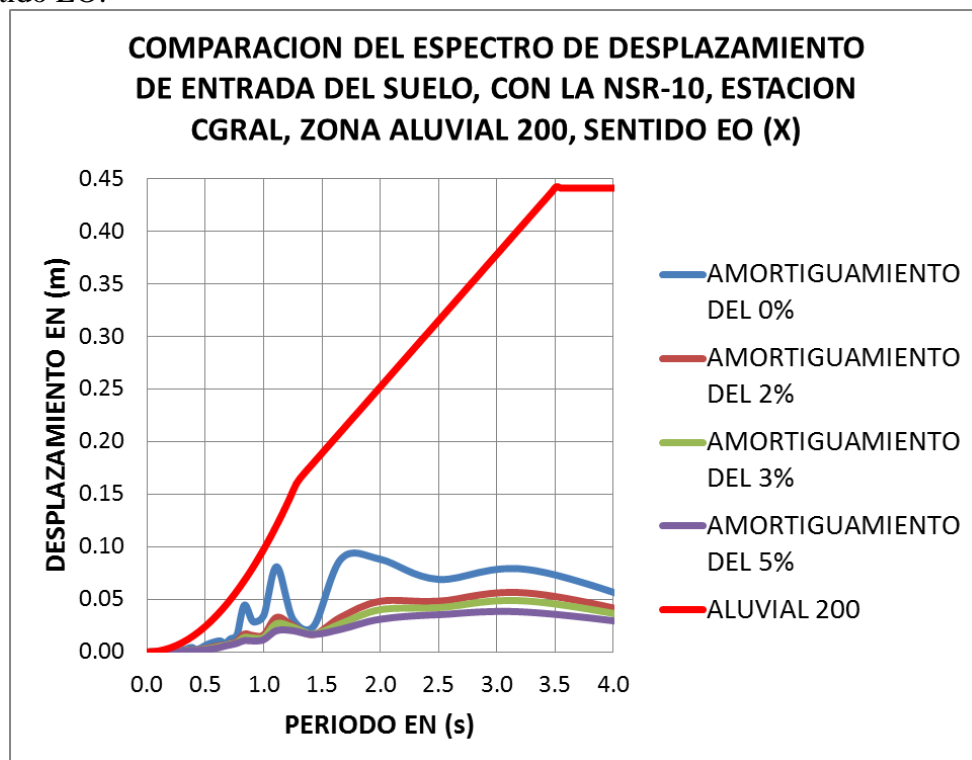


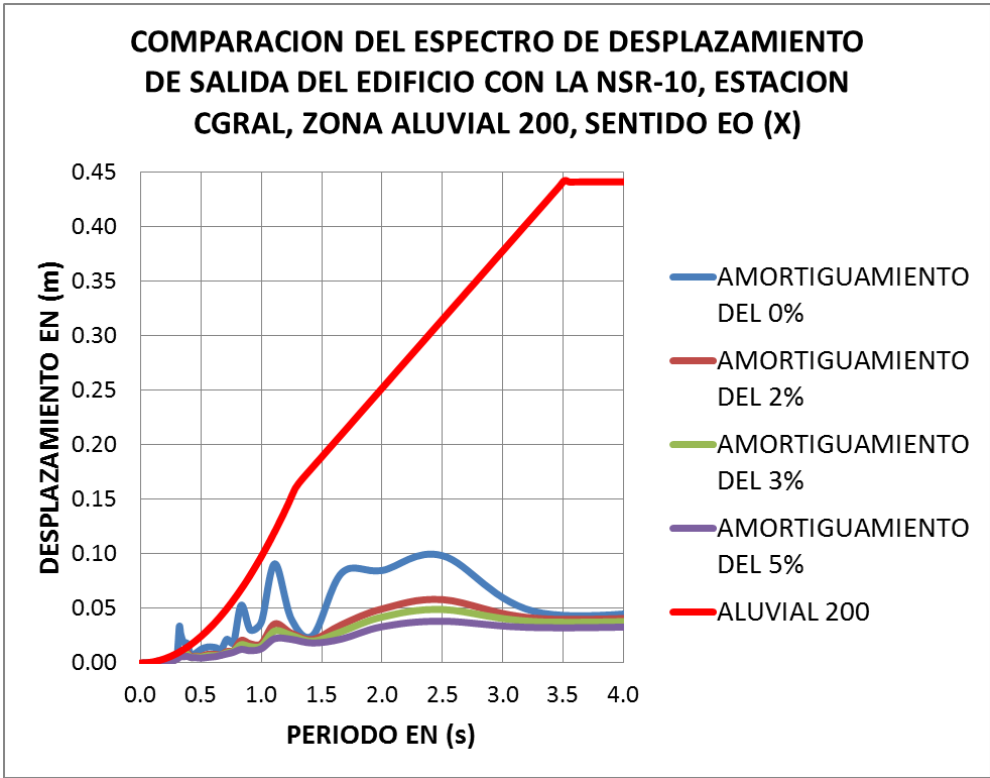
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CGRAL y NSR-10, sentido EO:



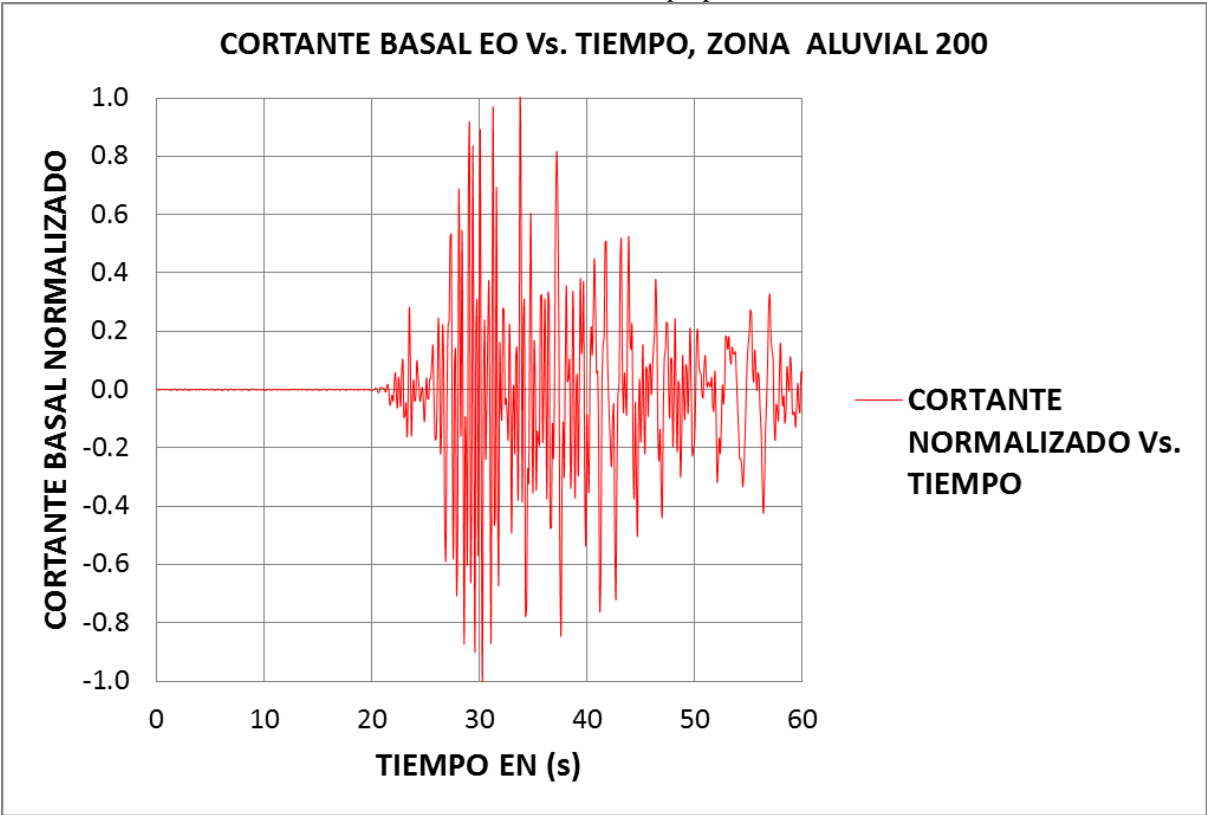


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CGRAL y NSR-10, sentido EO:





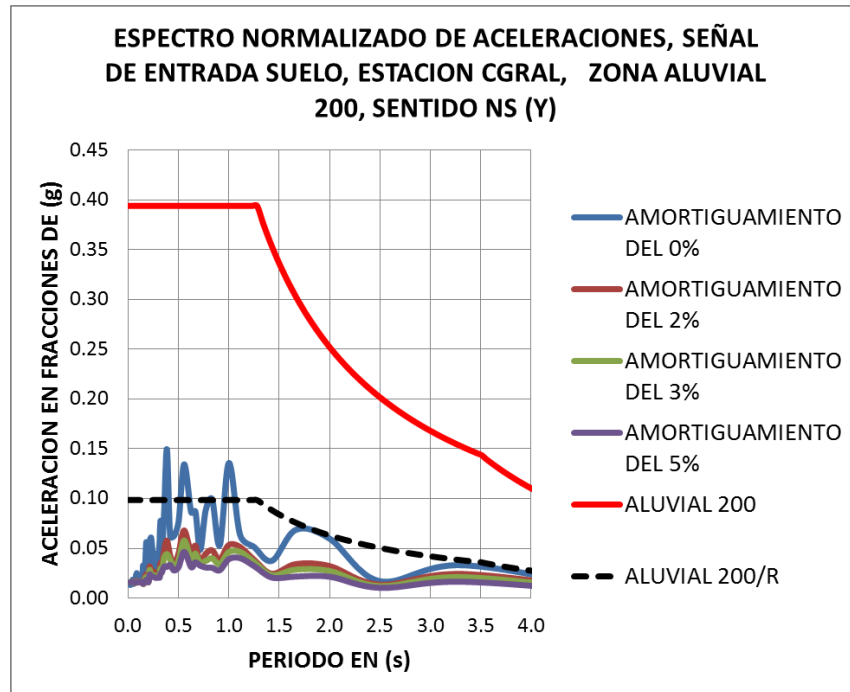
Fuente: Elaboración propia



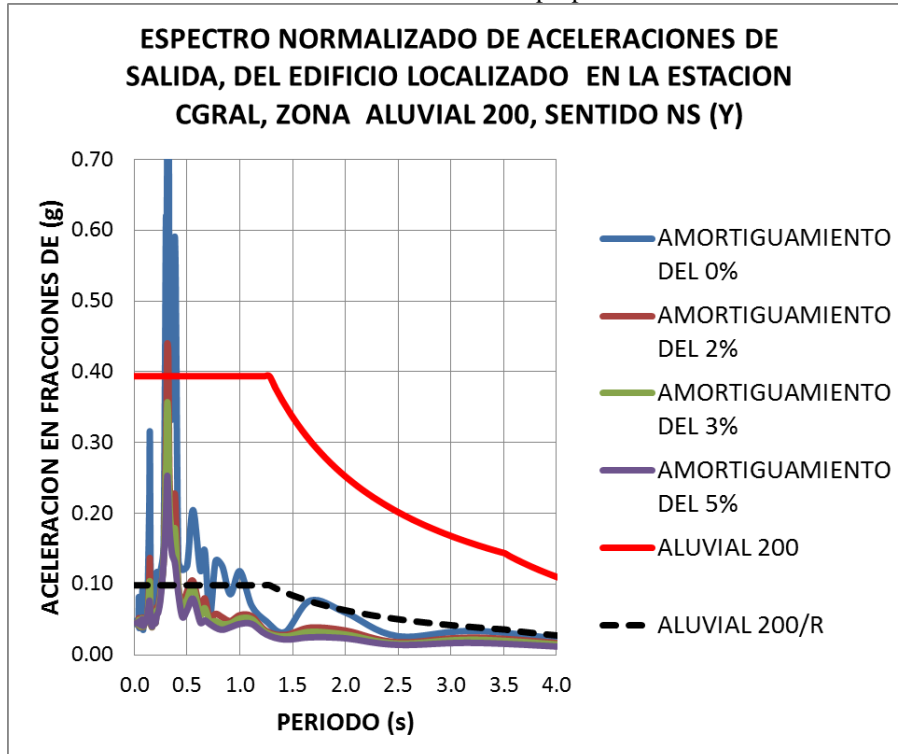
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CGRAL, ALUVIAL 200, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CGRAL y NSR-10, sentido NS:

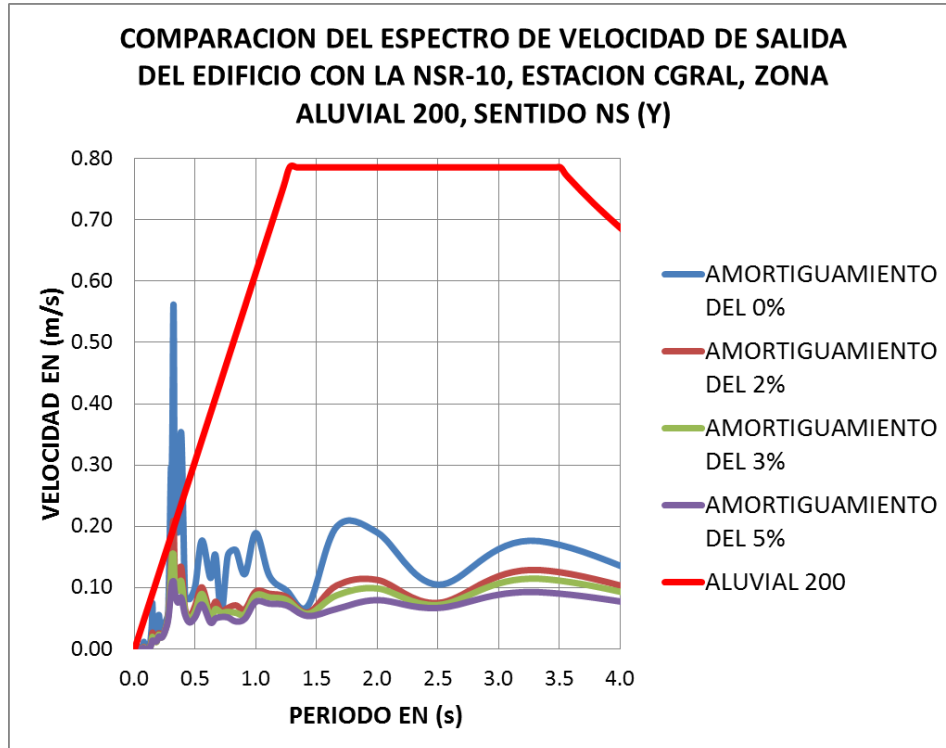
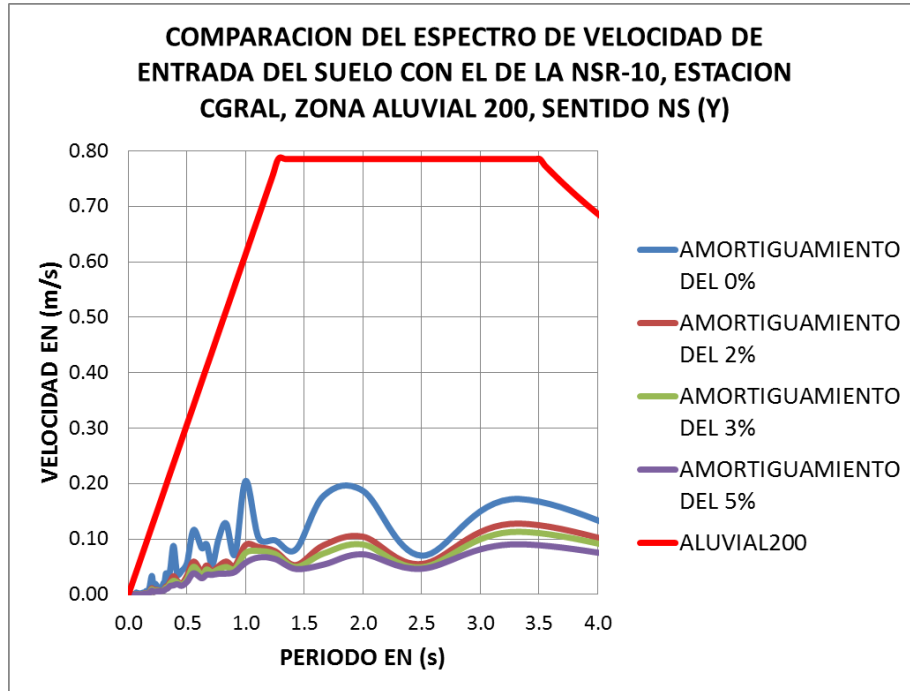


Fuente: Elaboración propia

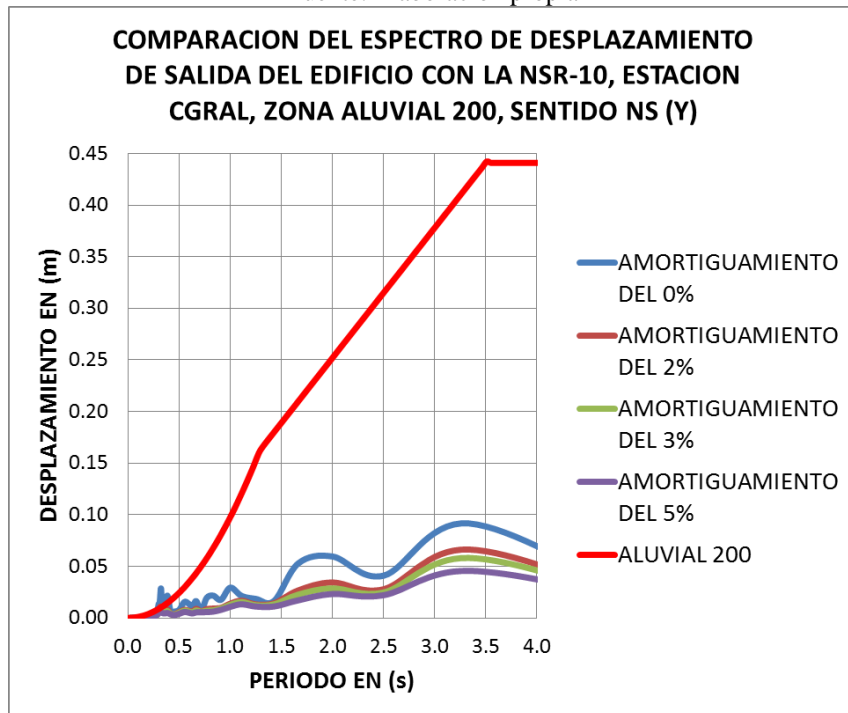
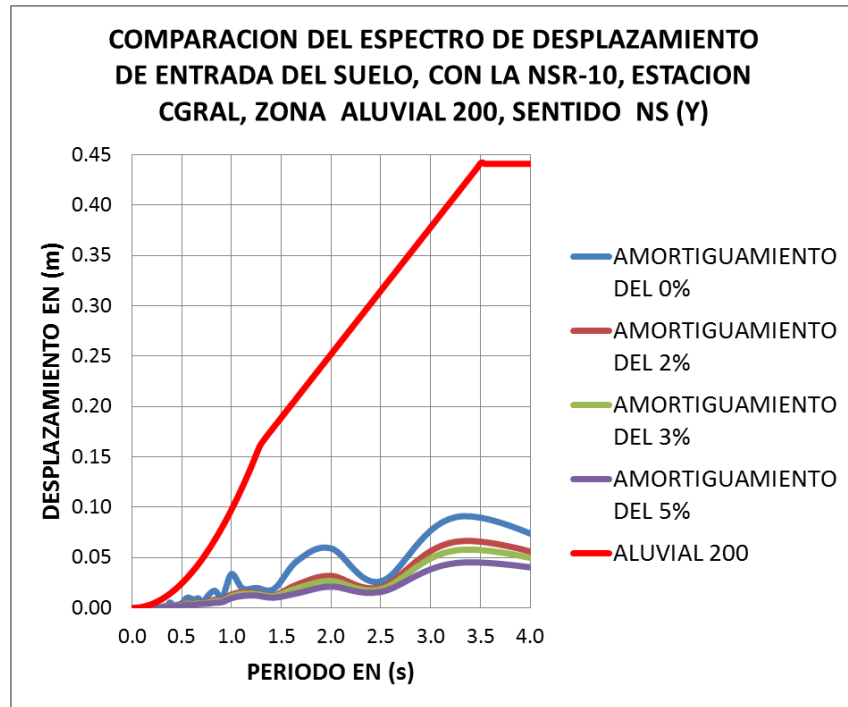


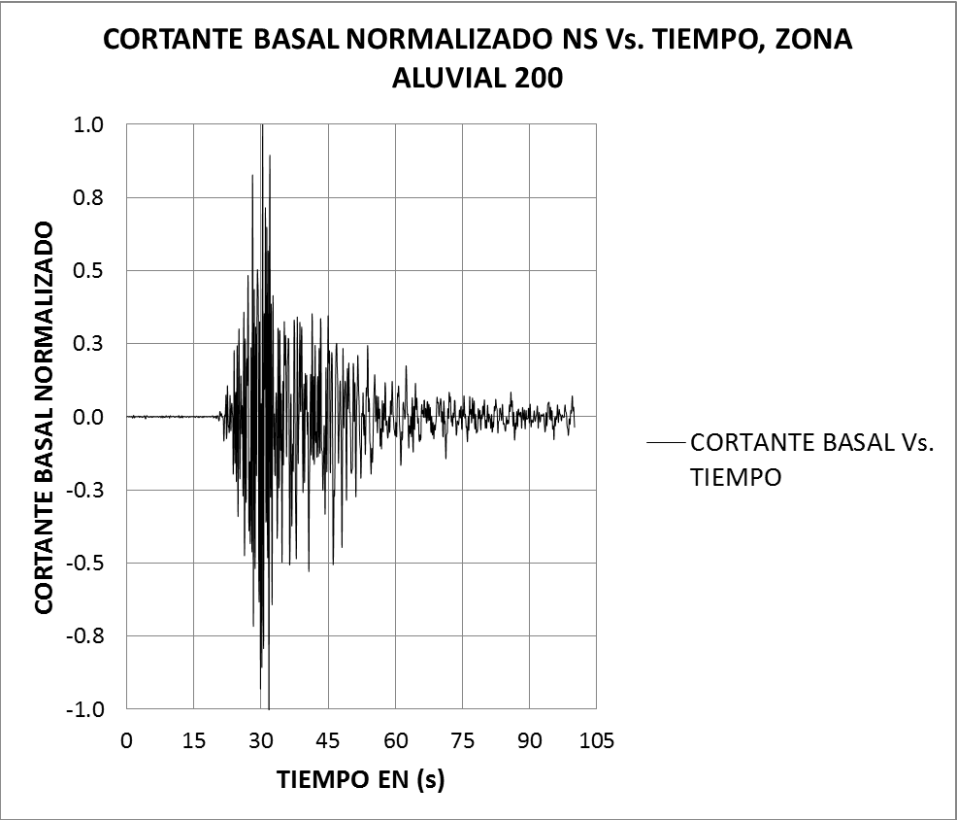
Fuente: Elaboración propia

-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CGRAL y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CGRAL y NSR-10, sentido NS:



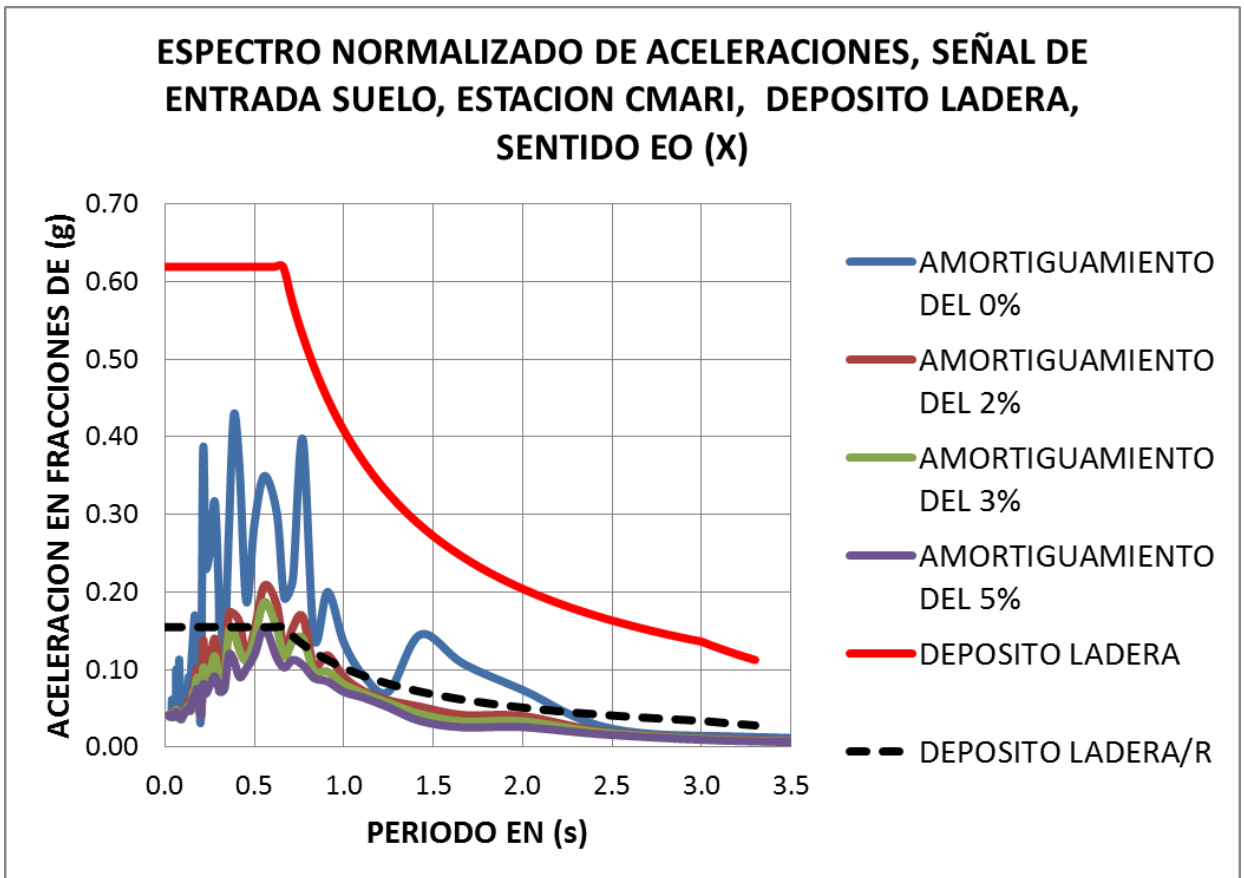


Fuente: Elaboración propia

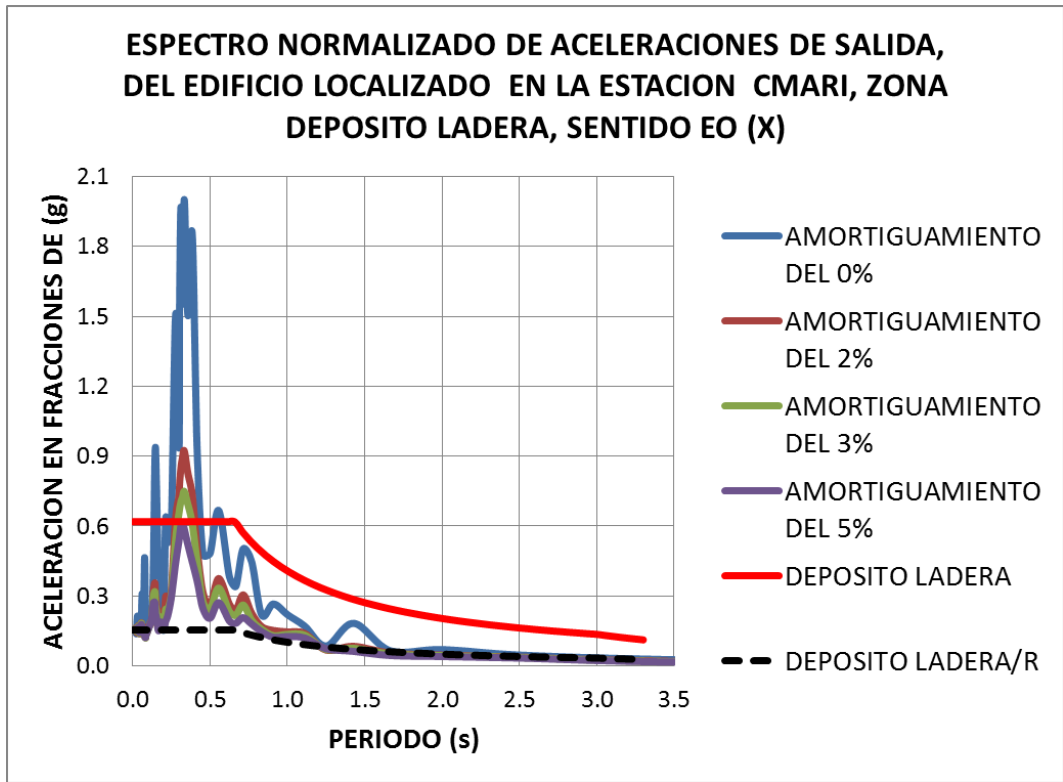
- 13) **Estación Bomberos la Marichuela:** El código en la RAB es CMARI, ubicada en la Carrera 1 A con Calle 76 A Bis Sur. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **DEPOSITO LADERA** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CMARI, DEPOSITO LADERA, SENTIDO EO (X):

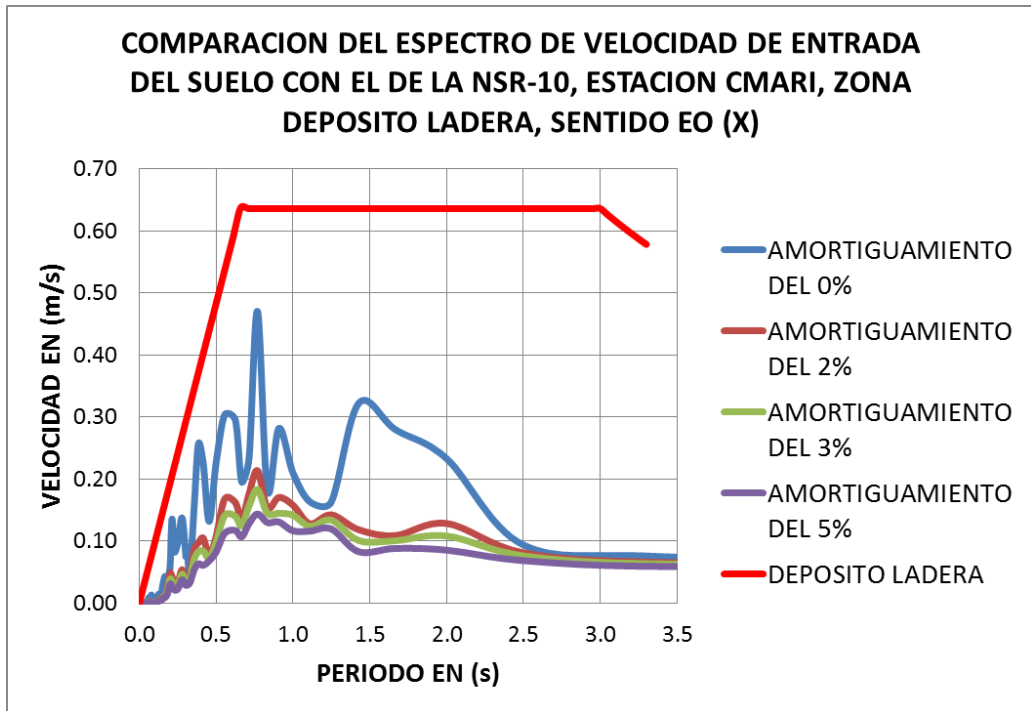
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CMARI y NSR-10, sentido EO:

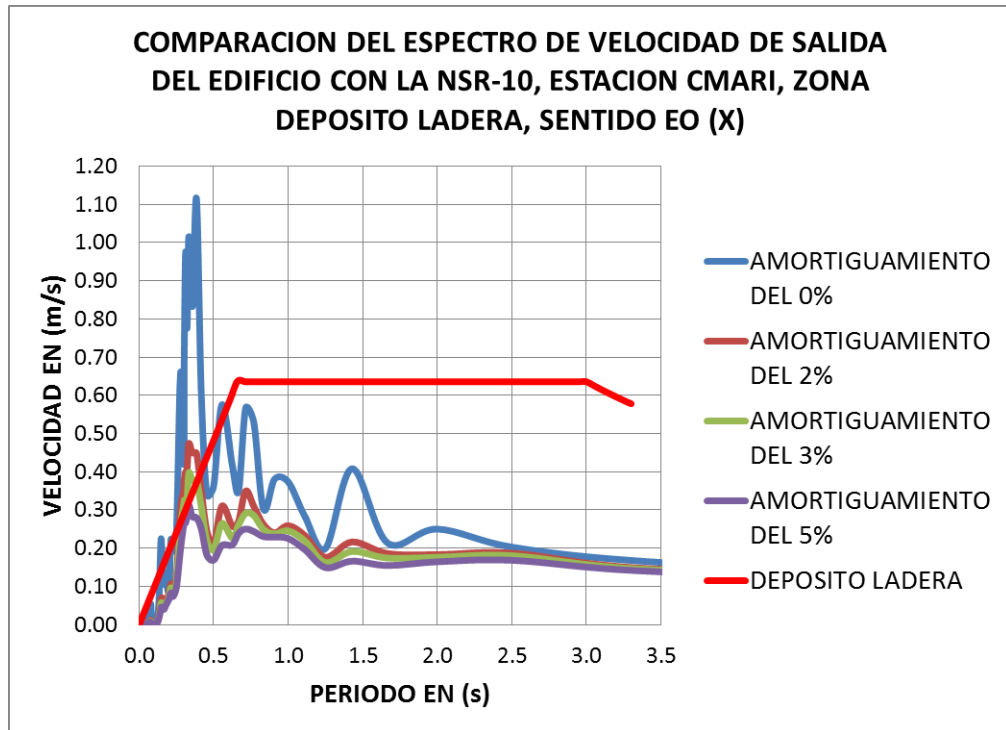


Fuente: Elaboración propia

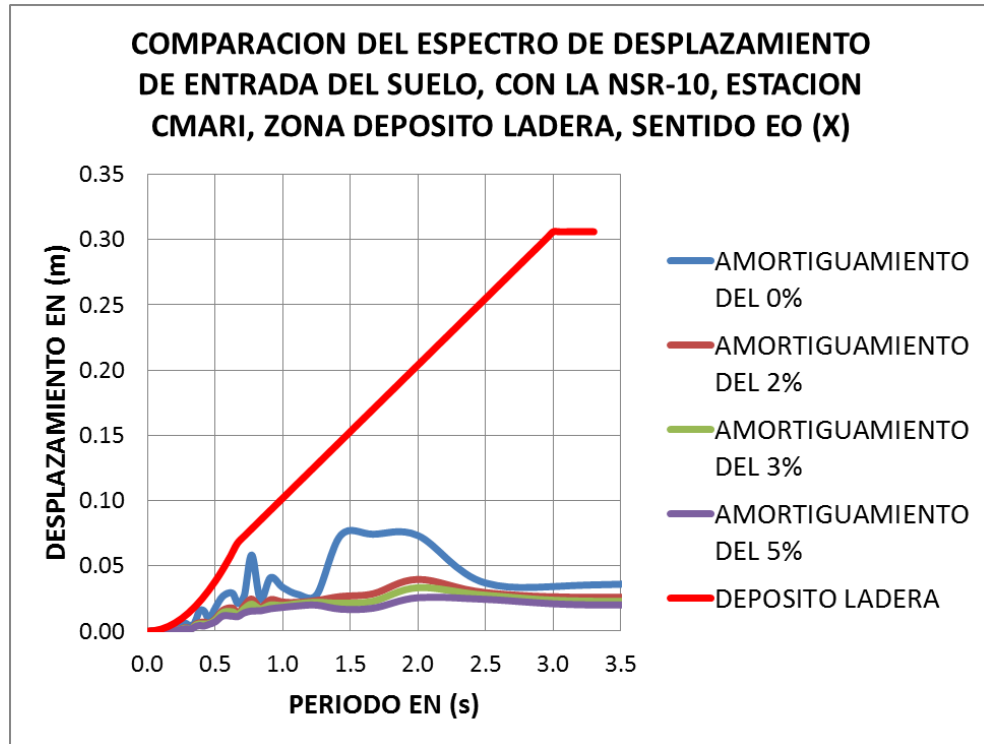


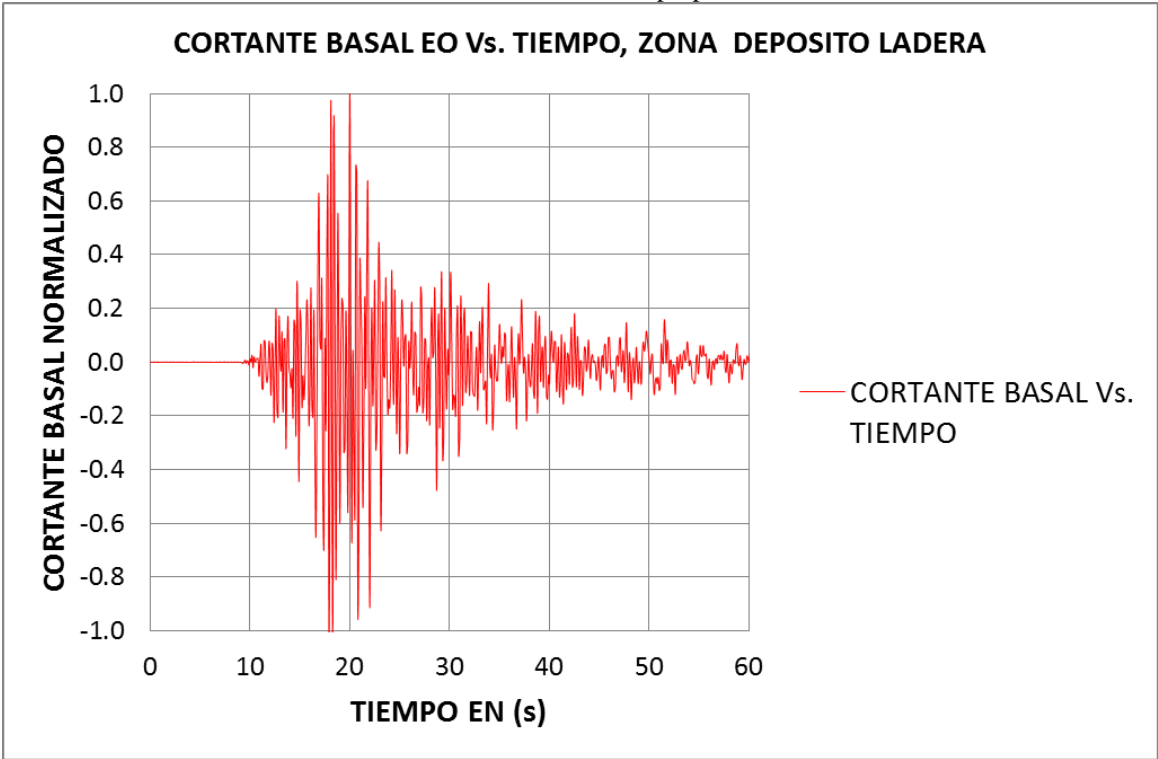
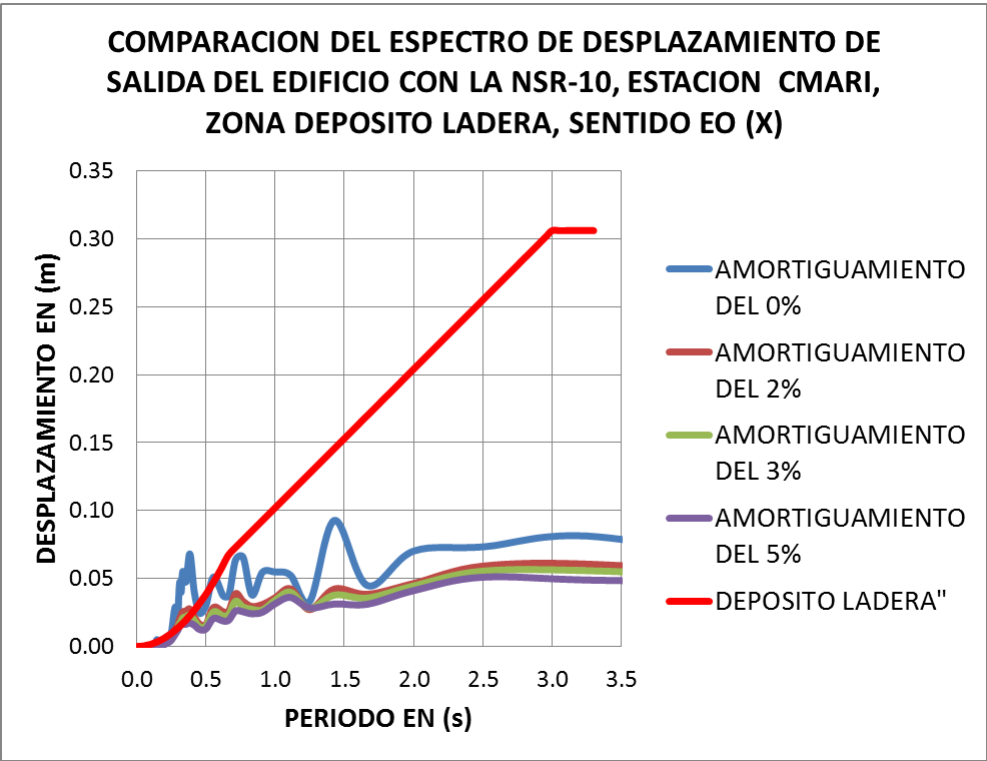
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CMARI y NSR-10, sentido EO:





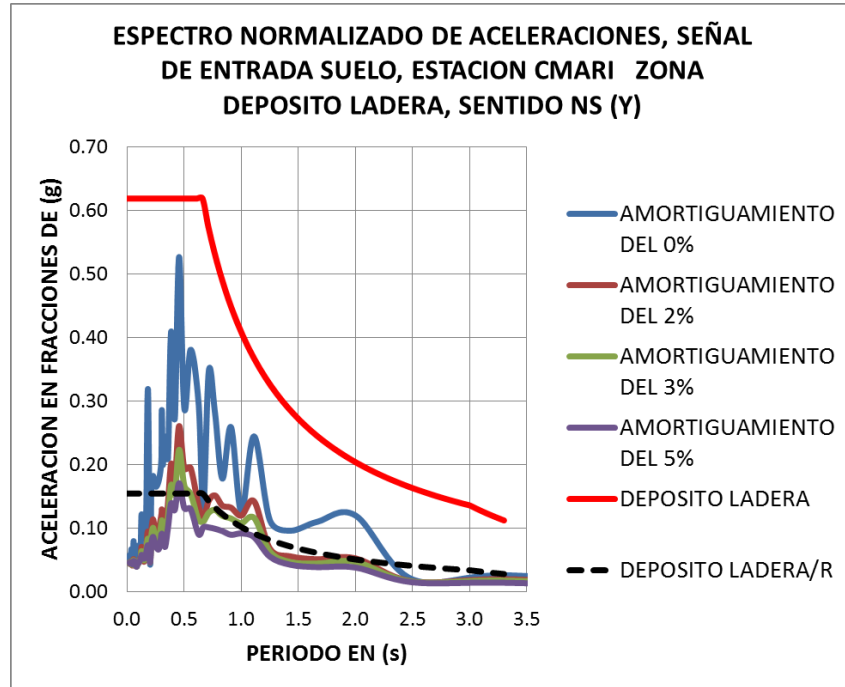
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CMARI y NSR-10, sentido EO:



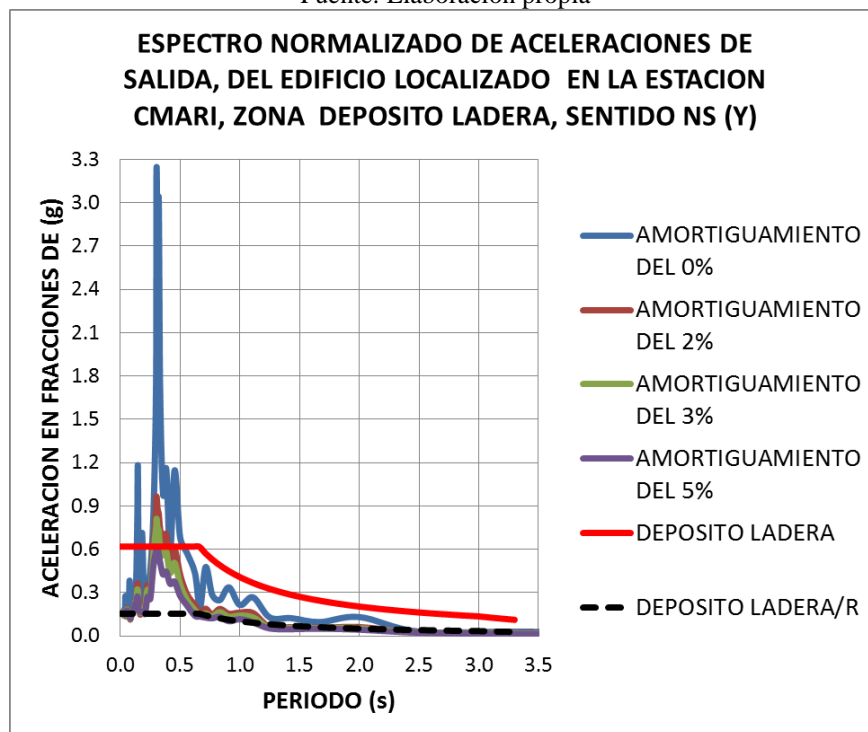


ESTACION CMARI, DEPOSITO LADERA, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CMARI y NSR-10, sentido NS:

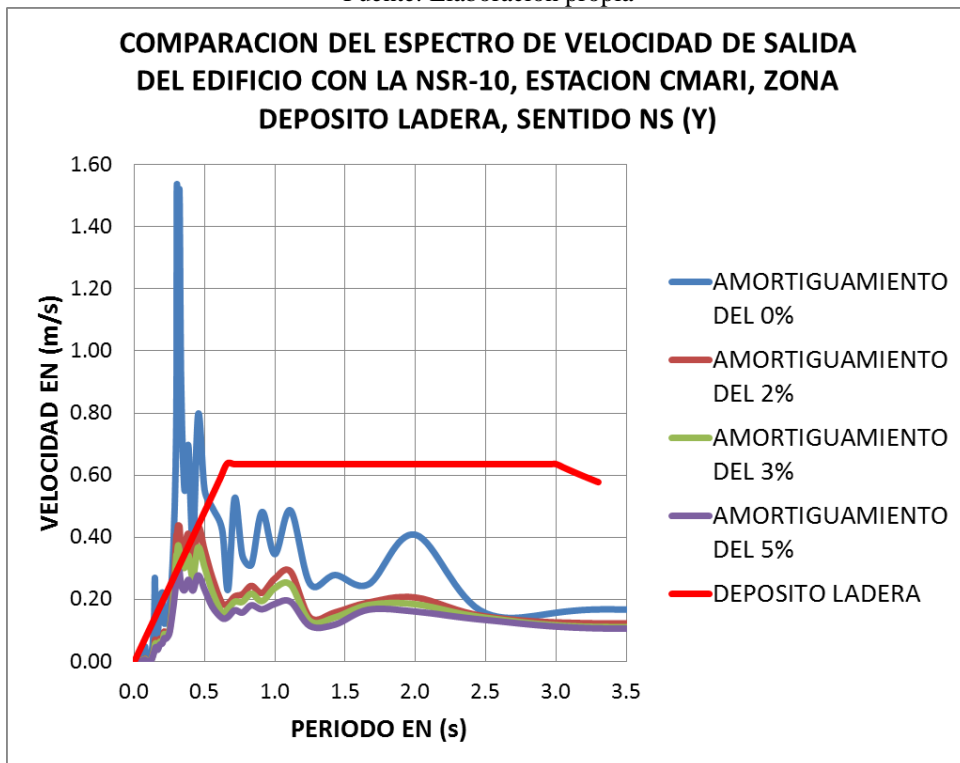
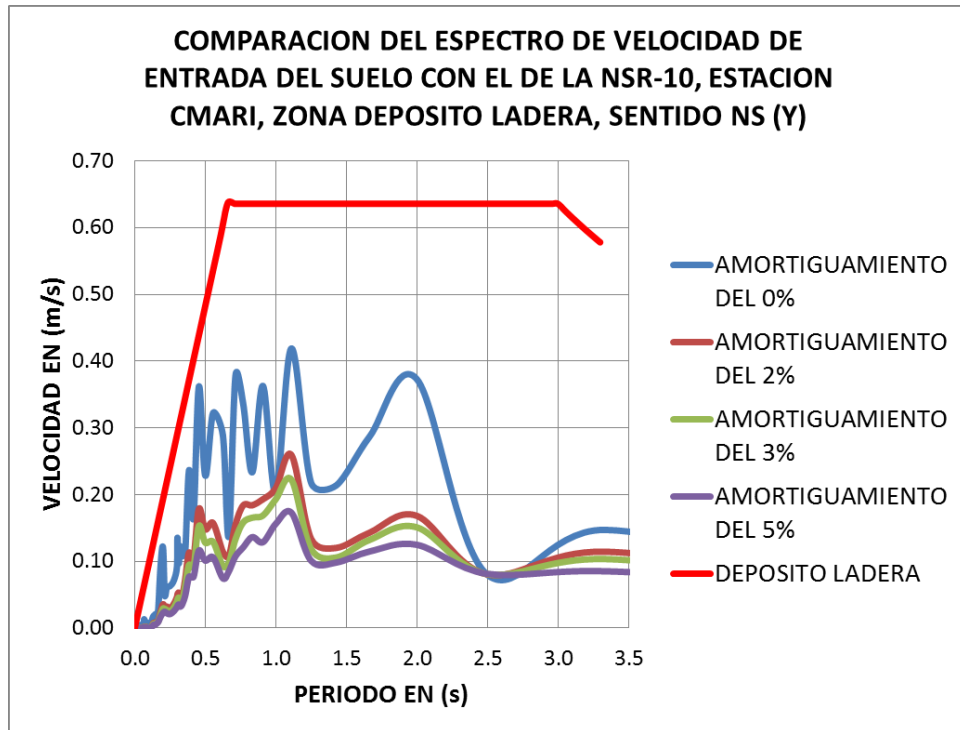


Fuente: Elaboración propia

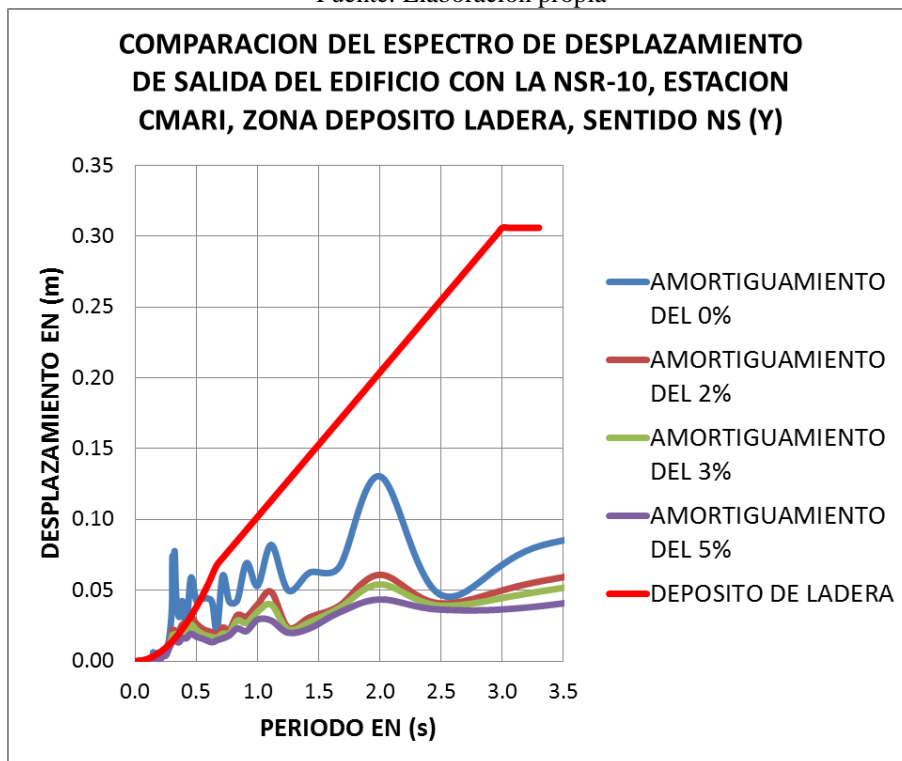
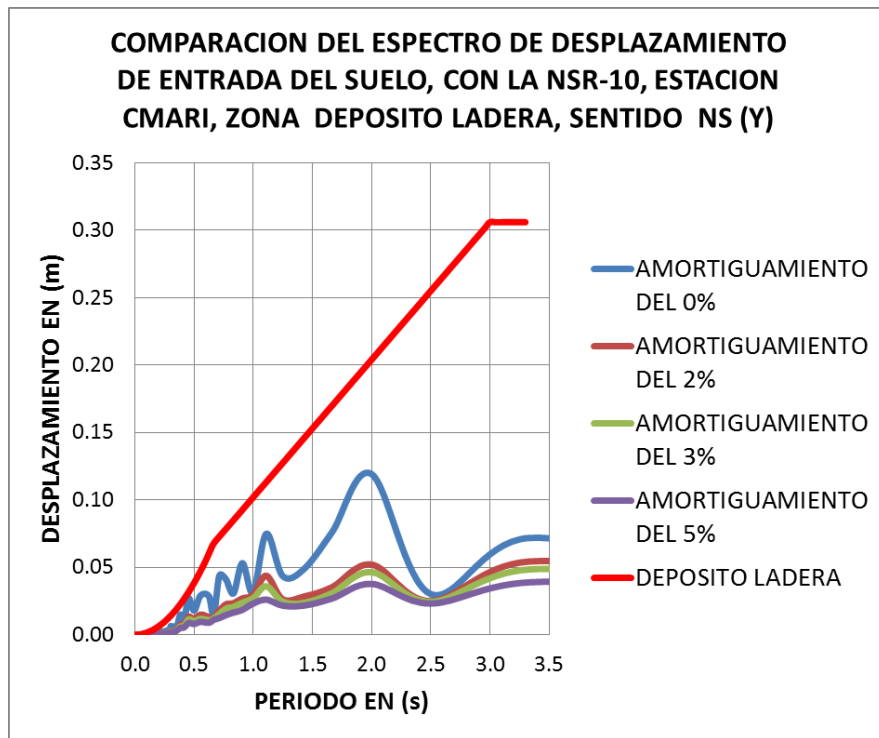


Fuente: Elaboración propia

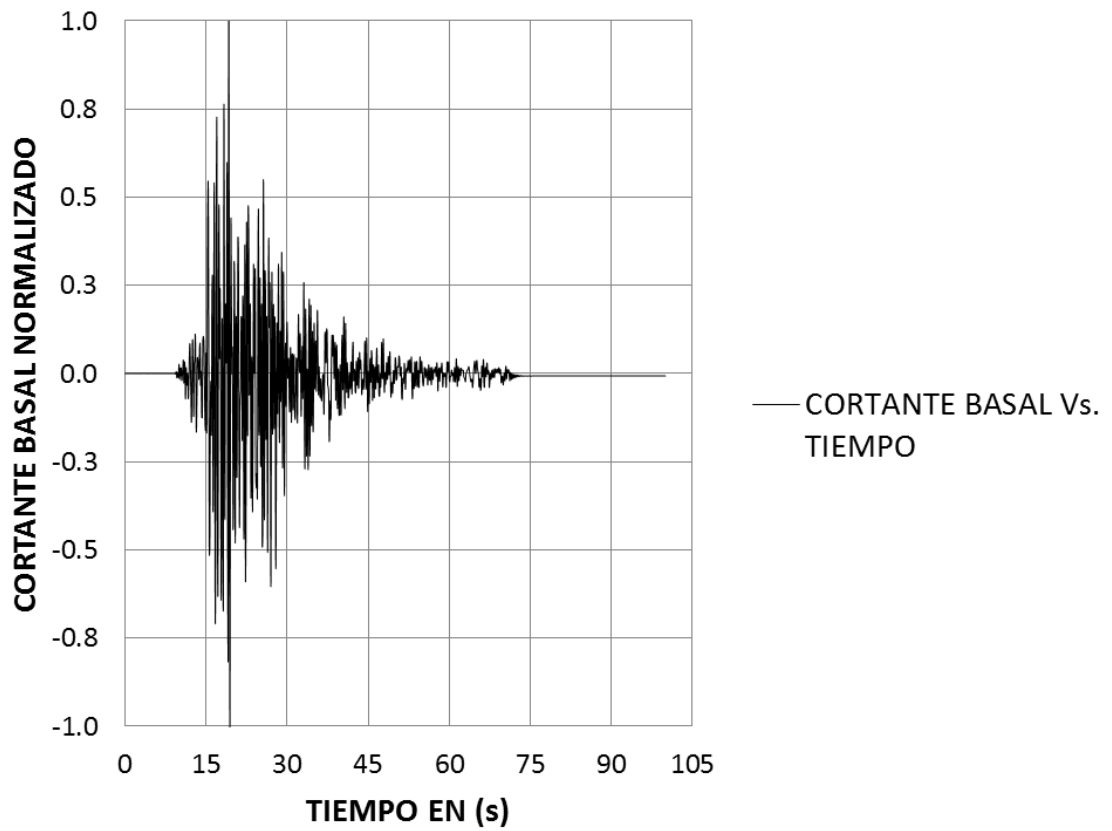
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CMARI y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CMARI y NSR-10, sentido NS:



**CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA
DEPOSITO LADERA**

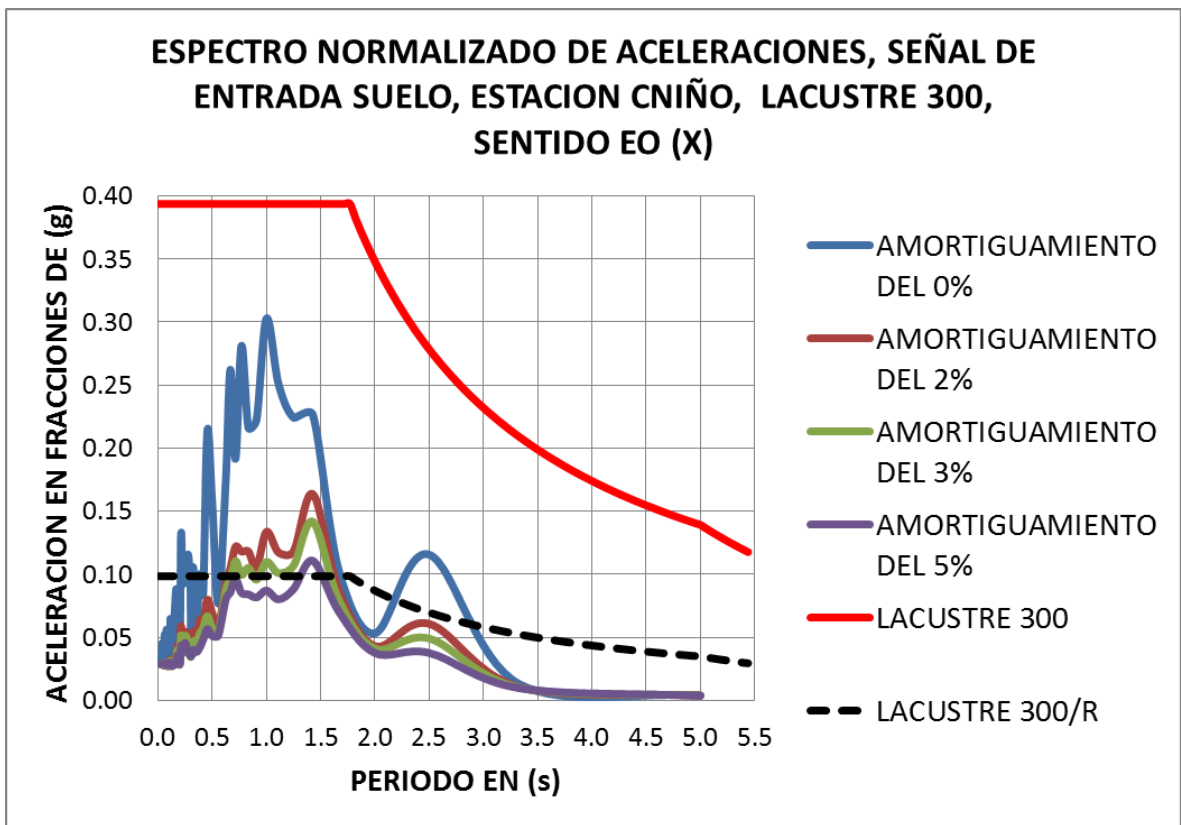


Fuente: Elaboración propia

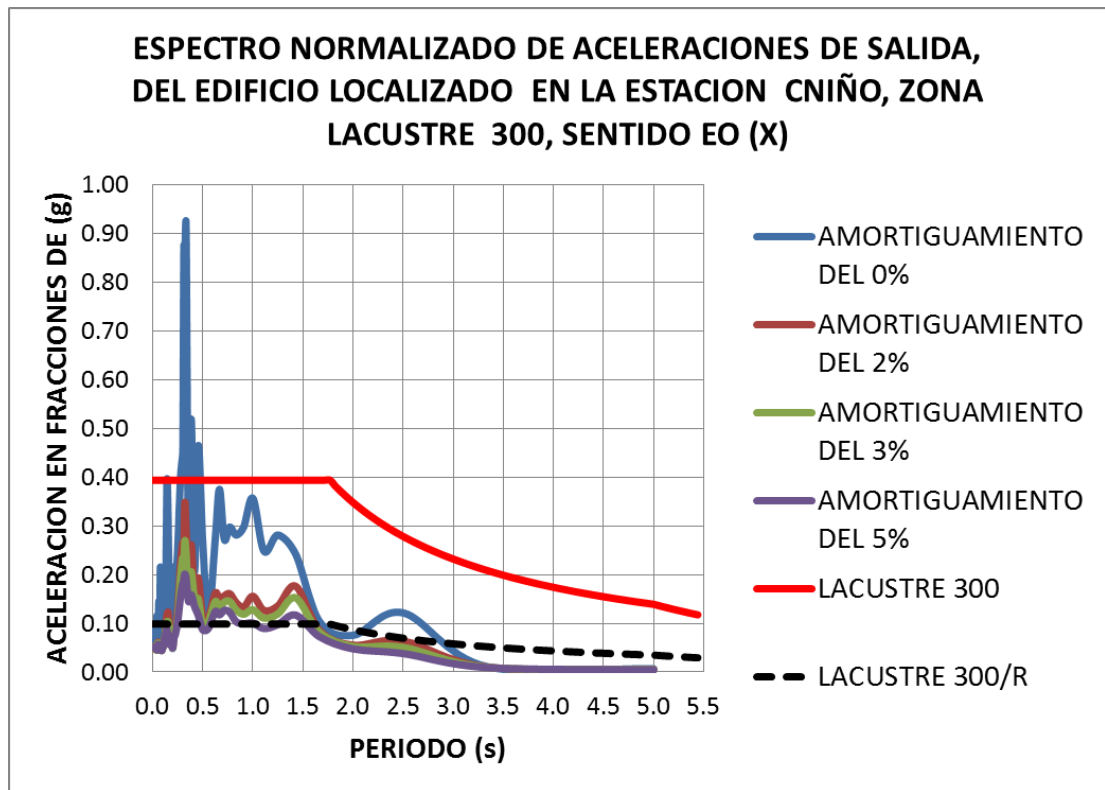
14) **Estación Centro de Estudios del Niño:** El código en la RAB es CNIÑO, ubicada en la Calle 71 # 73 A-44. Por coordenadas geográficas, ver tabla 5.3., se localizó en la zona **LACUSTRE 300** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CNIÑO, LACUSTRE 300, SENTIDO EO (X):

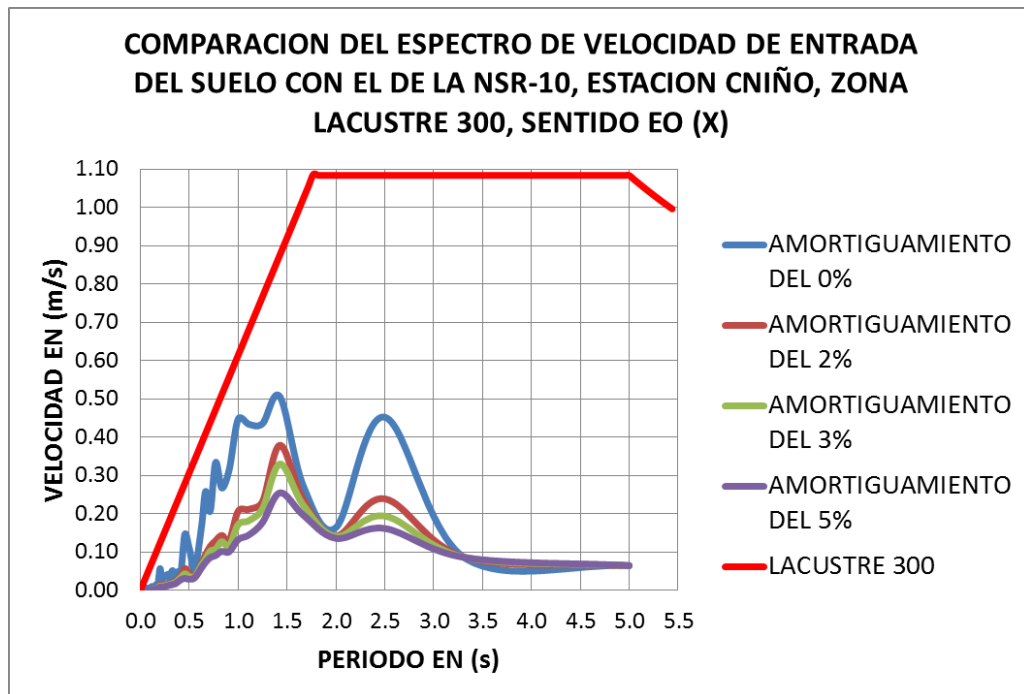
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CNIÑO y NSR-10, sentido EO:

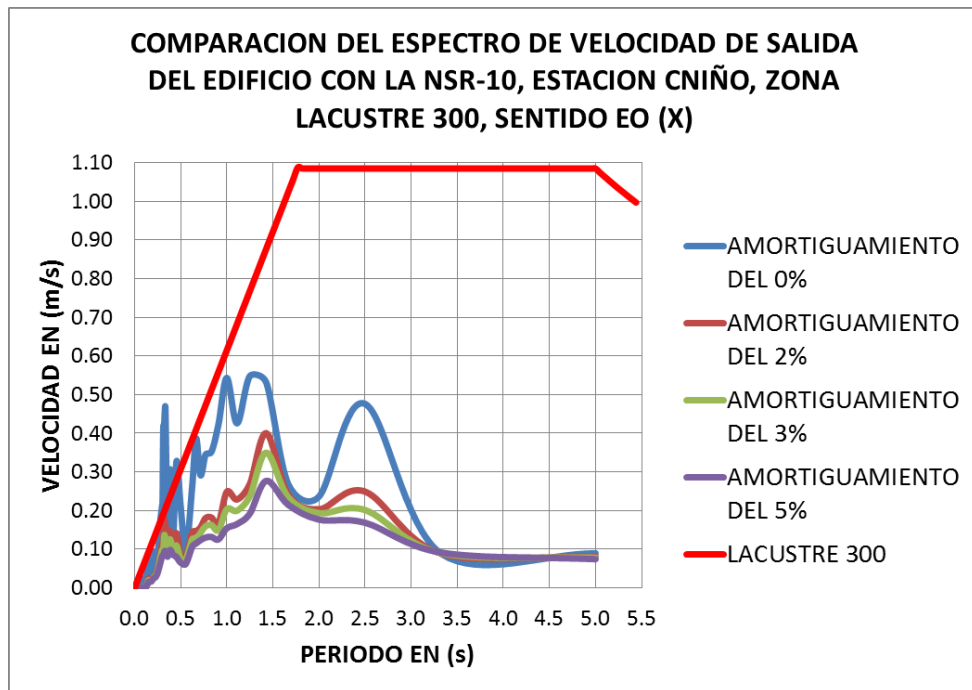


Fuente: Elaboración propia

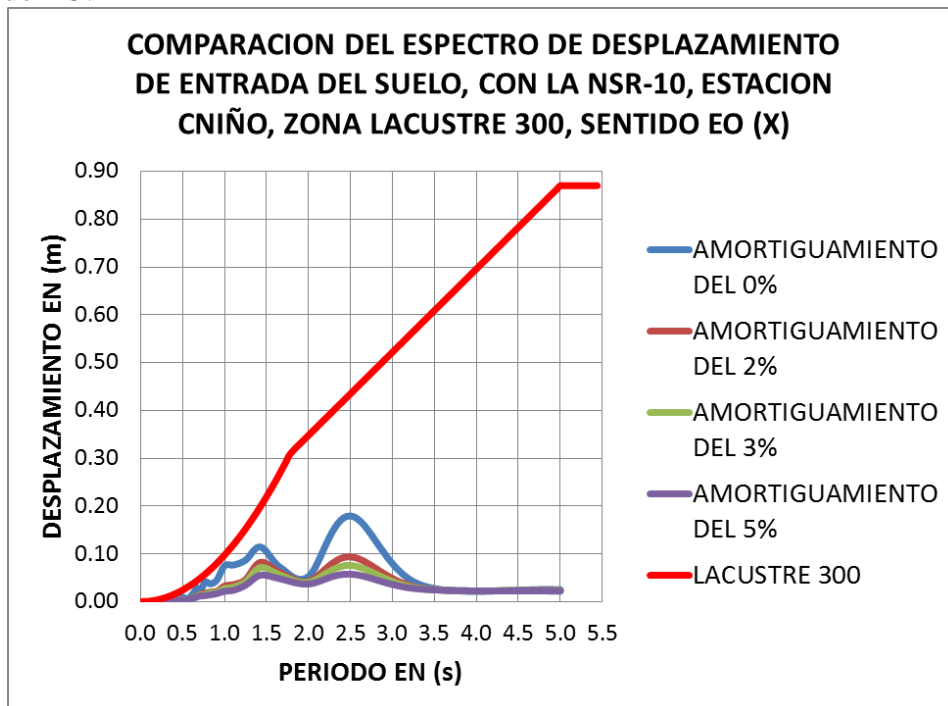


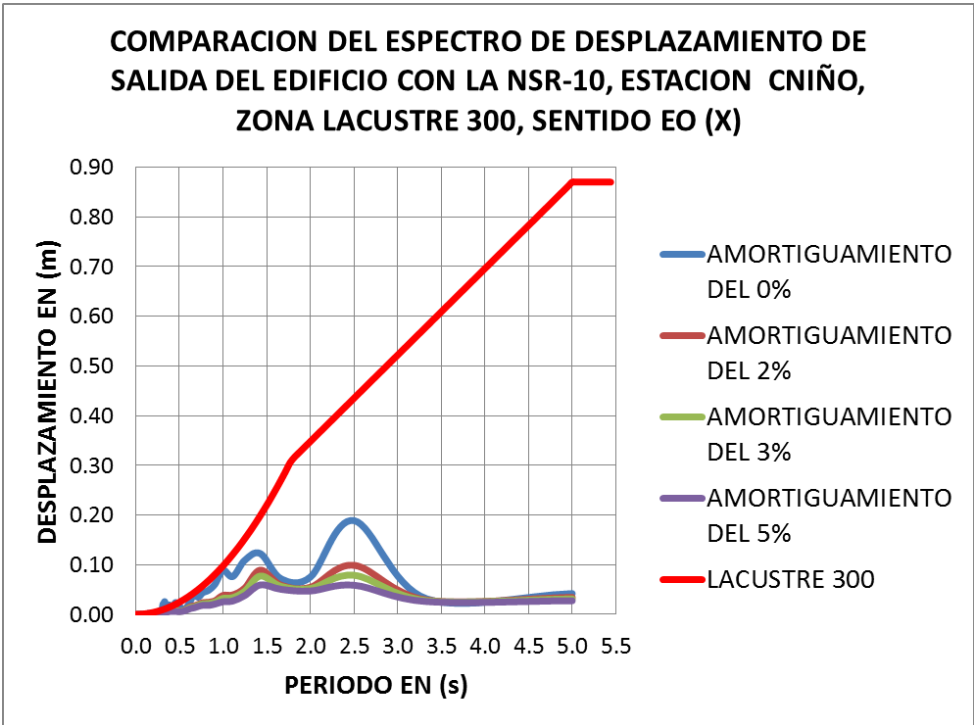
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CNIÑO y NSR-10, sentido EO:



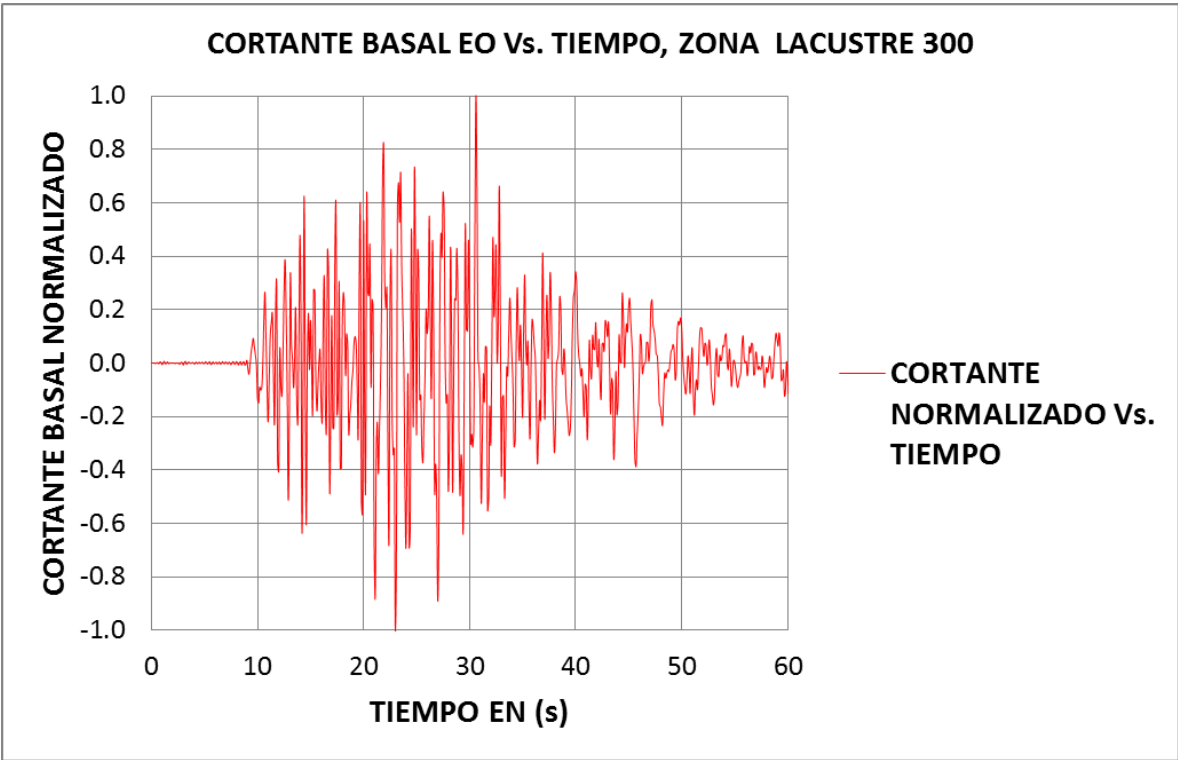


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CNIÑO y NSR-10, sentido EO:





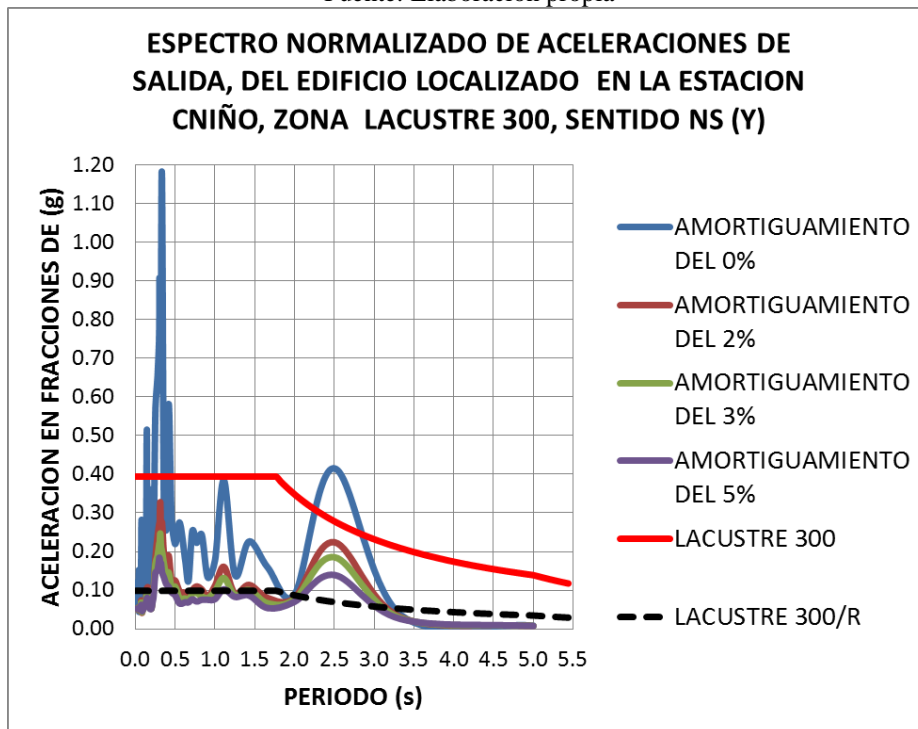
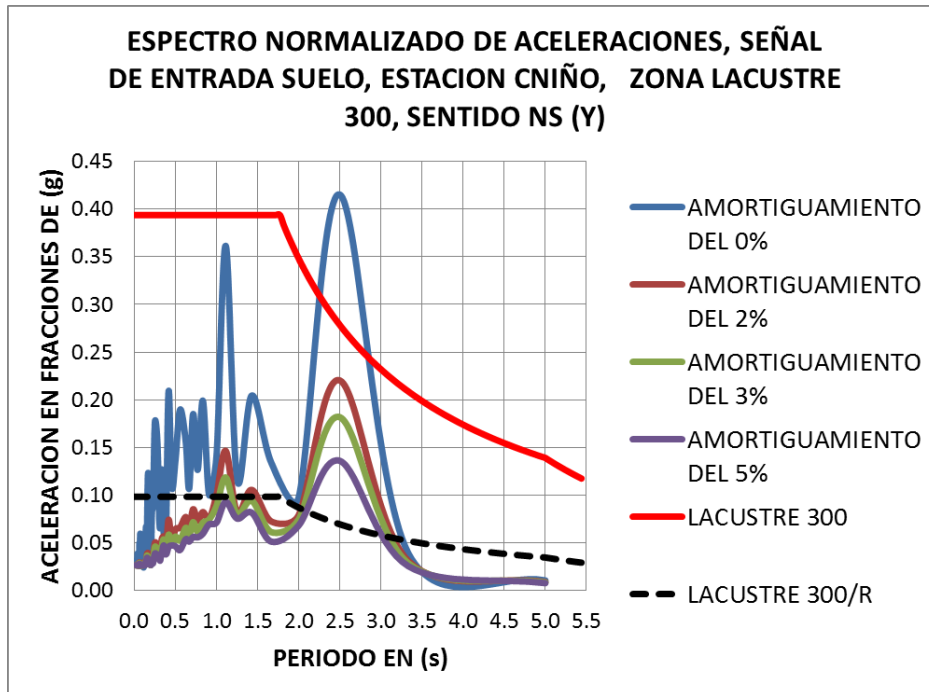
Fuente: Elaboración propia



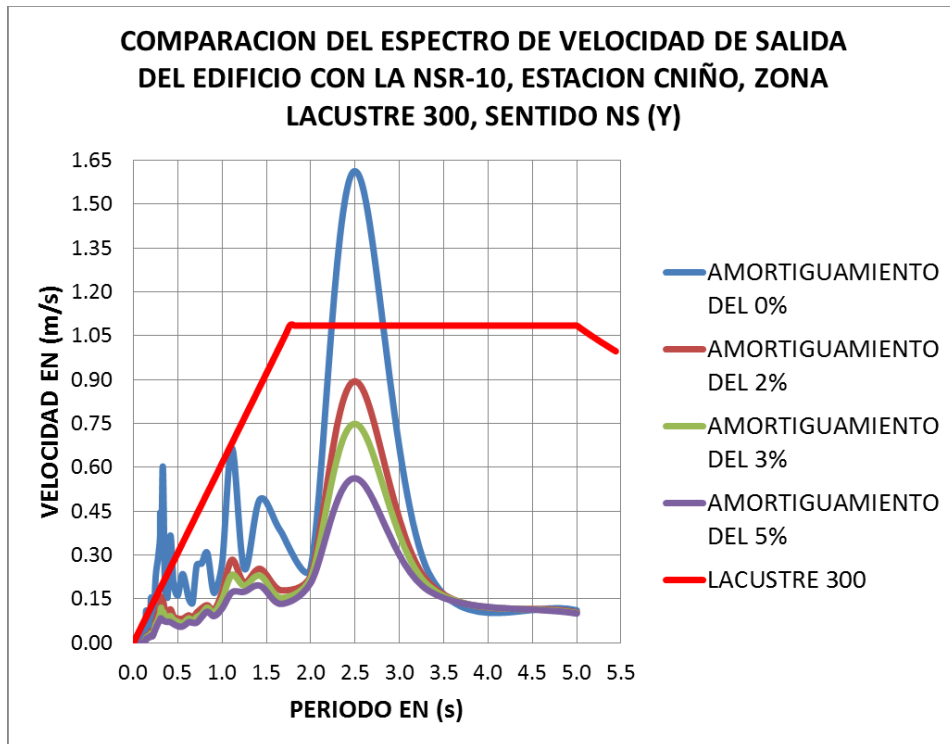
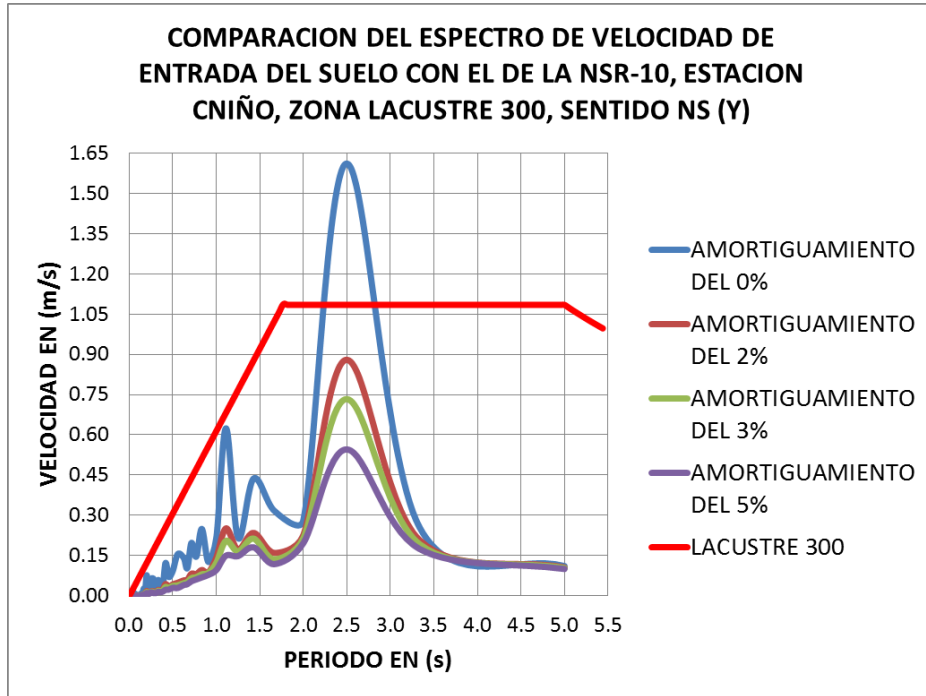
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CNIÑO, LACUSTRE 300, SENTIDO NS (Y):

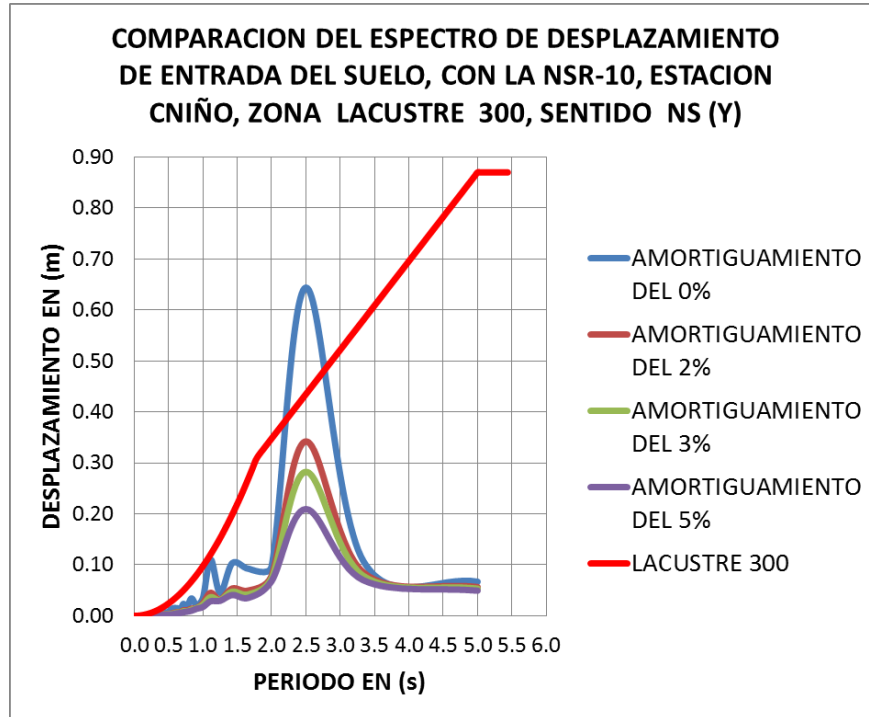
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CNIÑO y NSR-10, sentido NS:



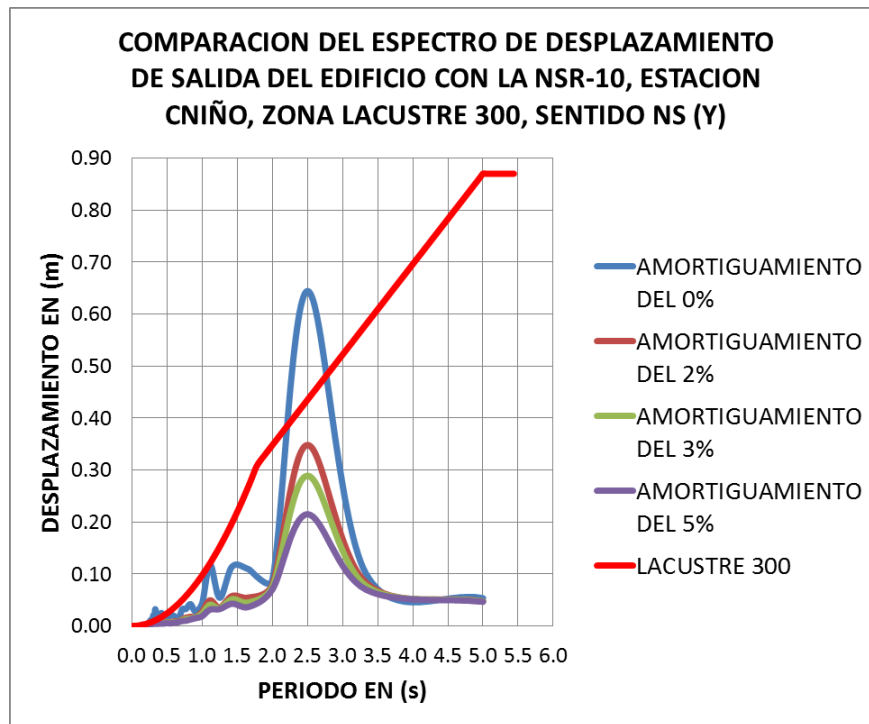
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CNIÑO y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CNIÑO y NSR-10, sentido NS:

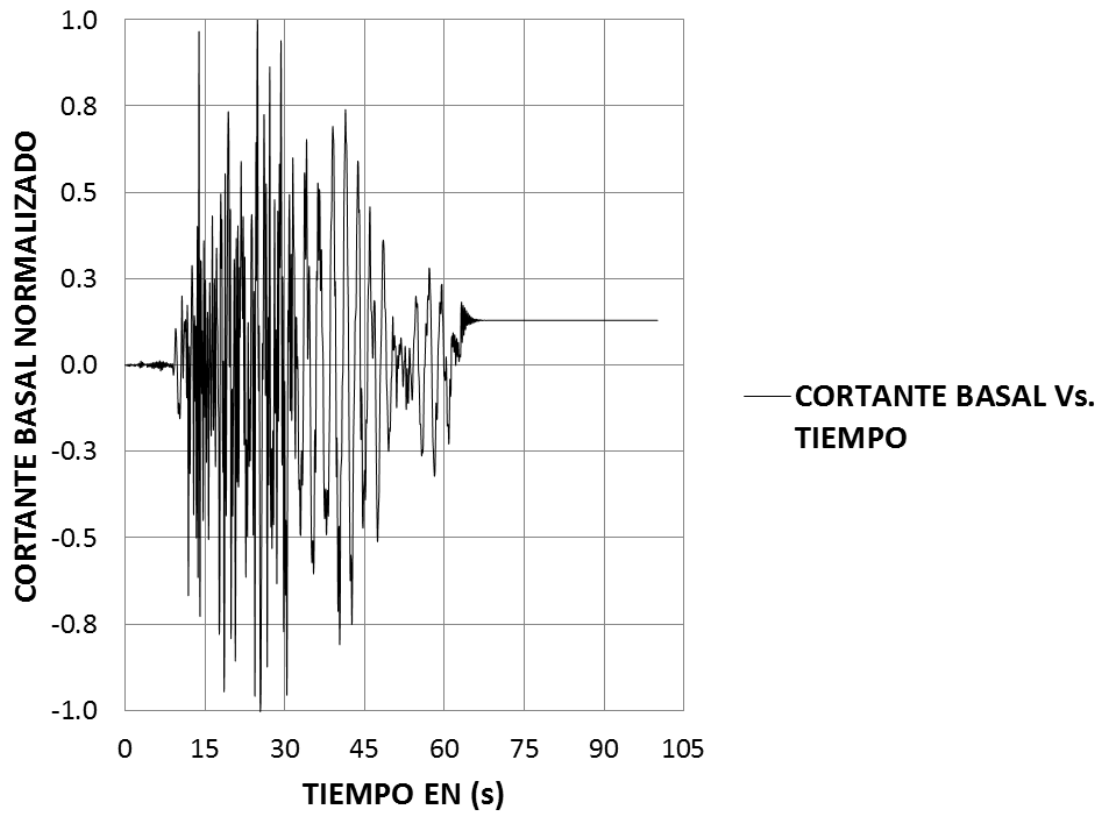


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA LACUSTRE 300

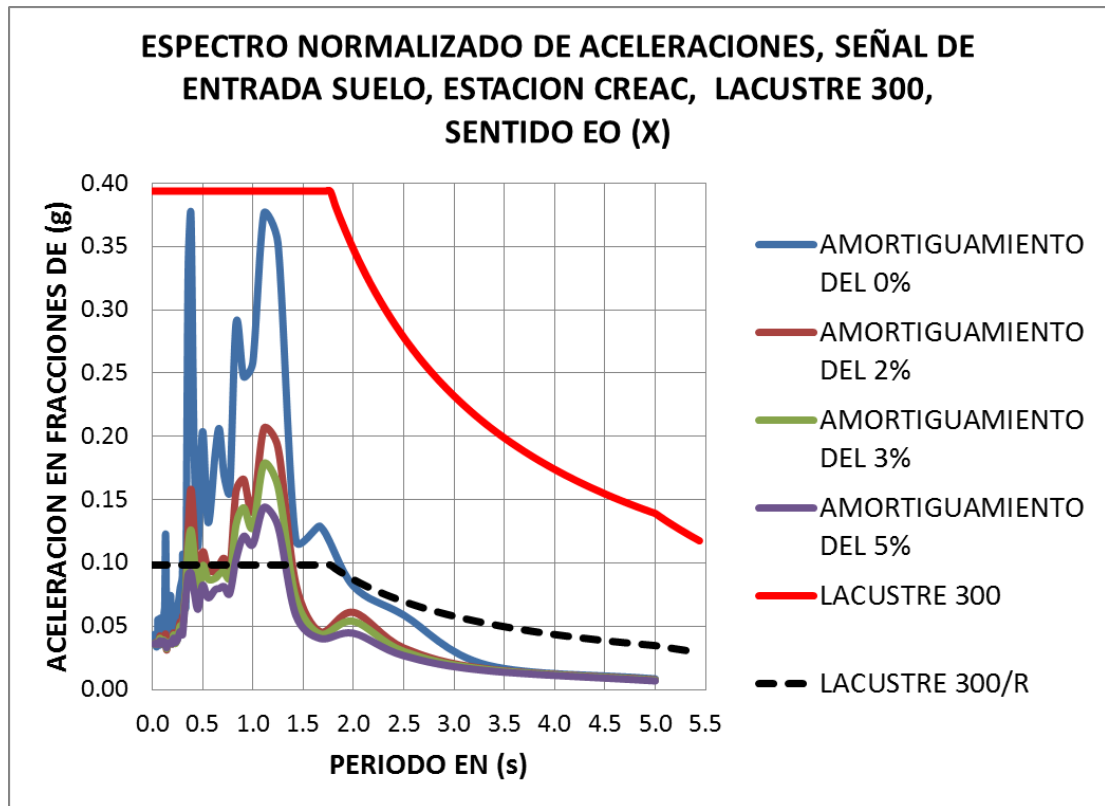


Fuente: Elaboración propia

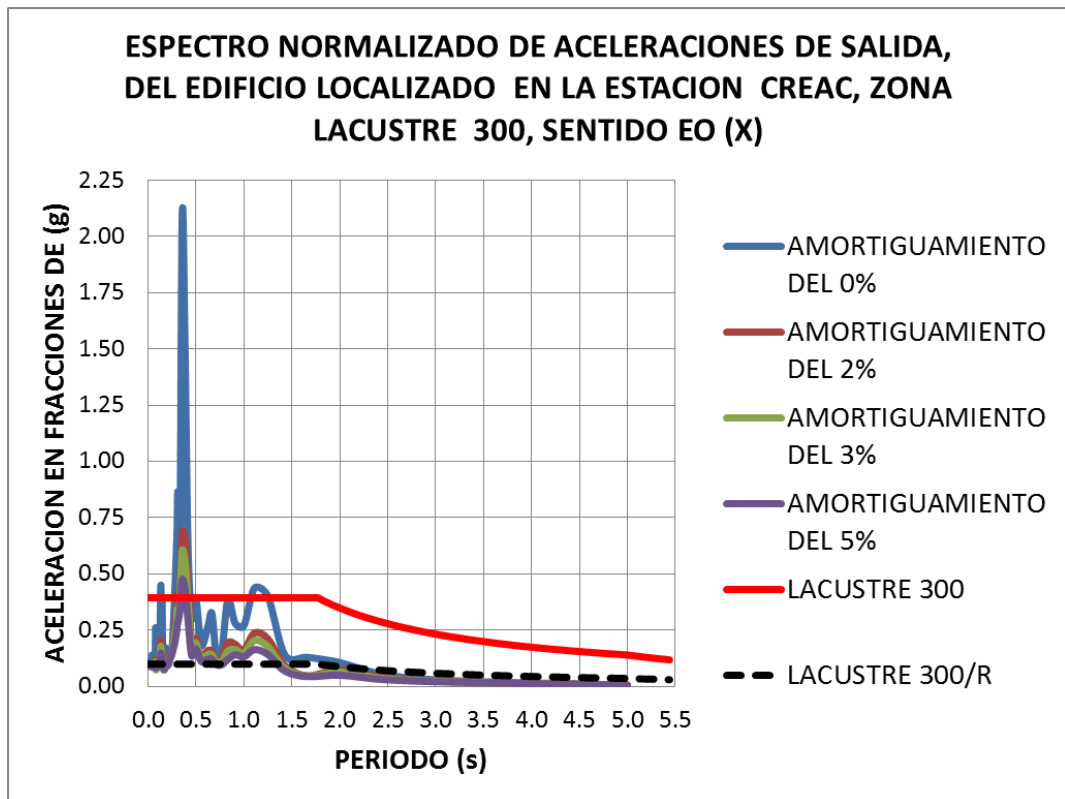
- 15) **Estación Reactor (INGEOMINAS):** El código en la RAB es CREAC, ubicada en las coordenadas geográficas de 4.642° de Latitud Norte y -74.095° de Longitud Este. Se localiza en la zona **LACUSTRE 300** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CREAC, LACUSTRE 300, SENTIDO EO (X):

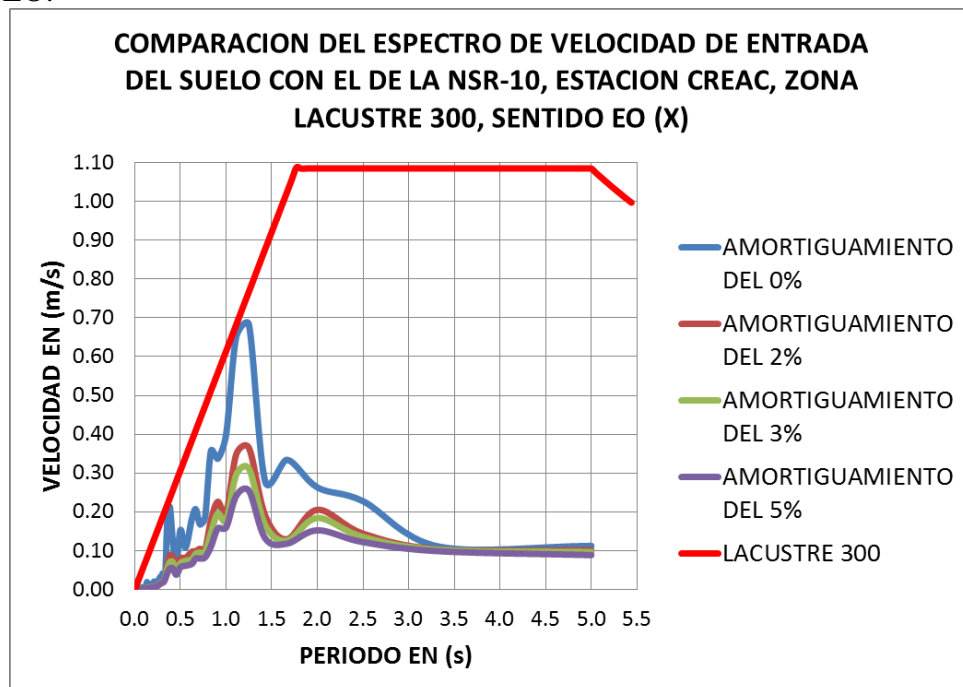
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CREAC y NSR-10, sentido EO:

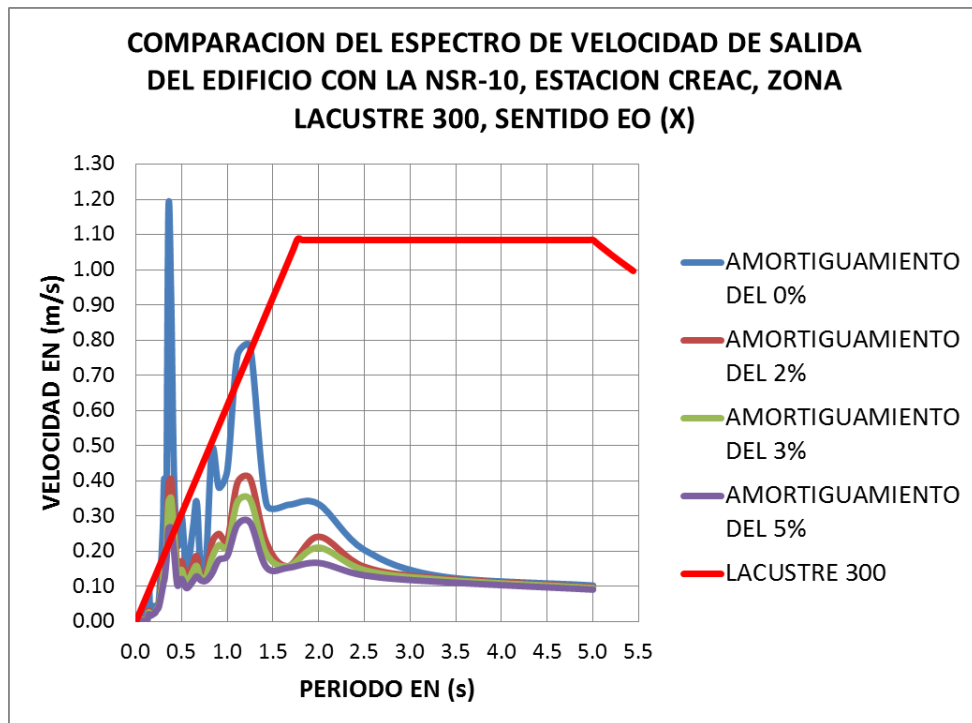


Fuente: Elaboración propia

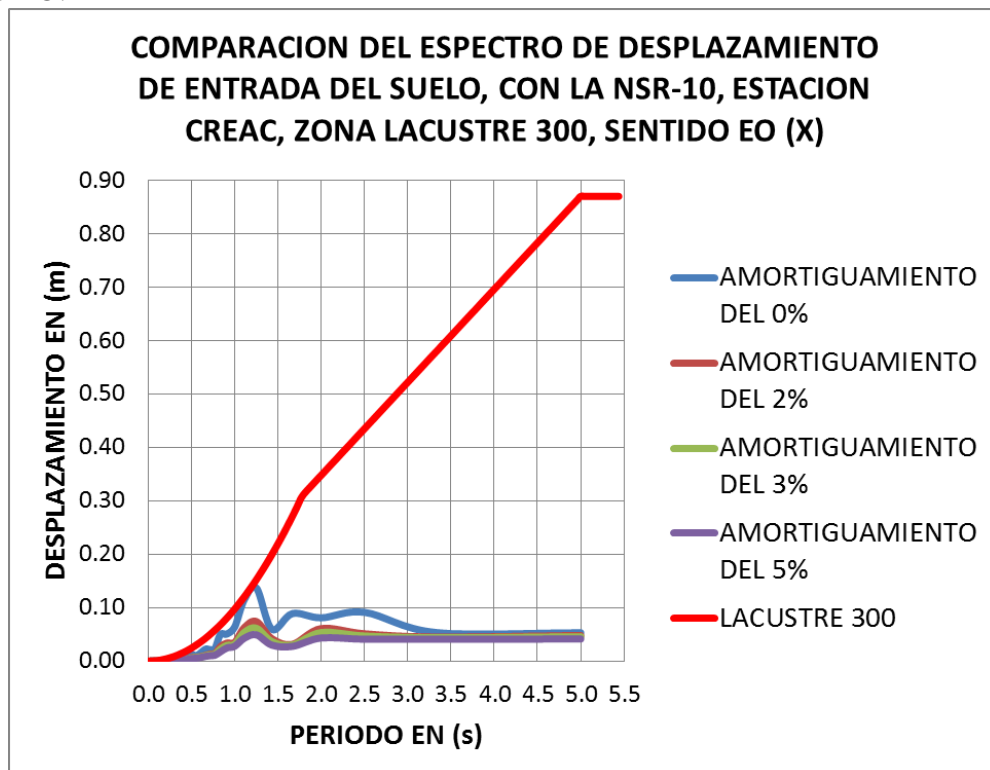


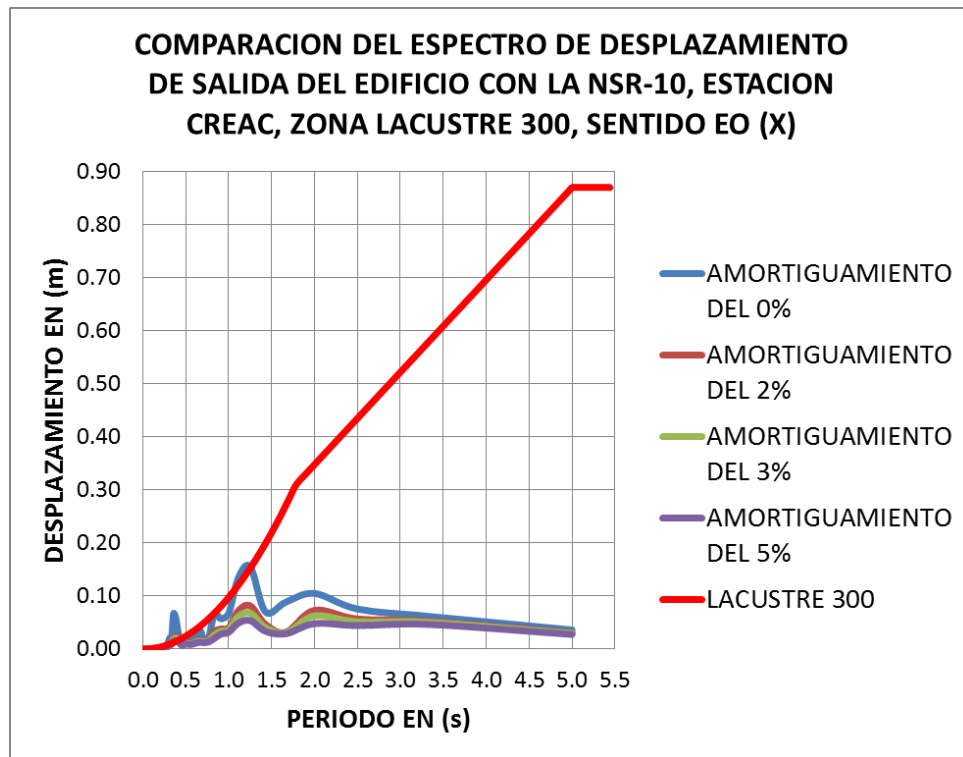
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CREAC y NSR-10, sentido EO:



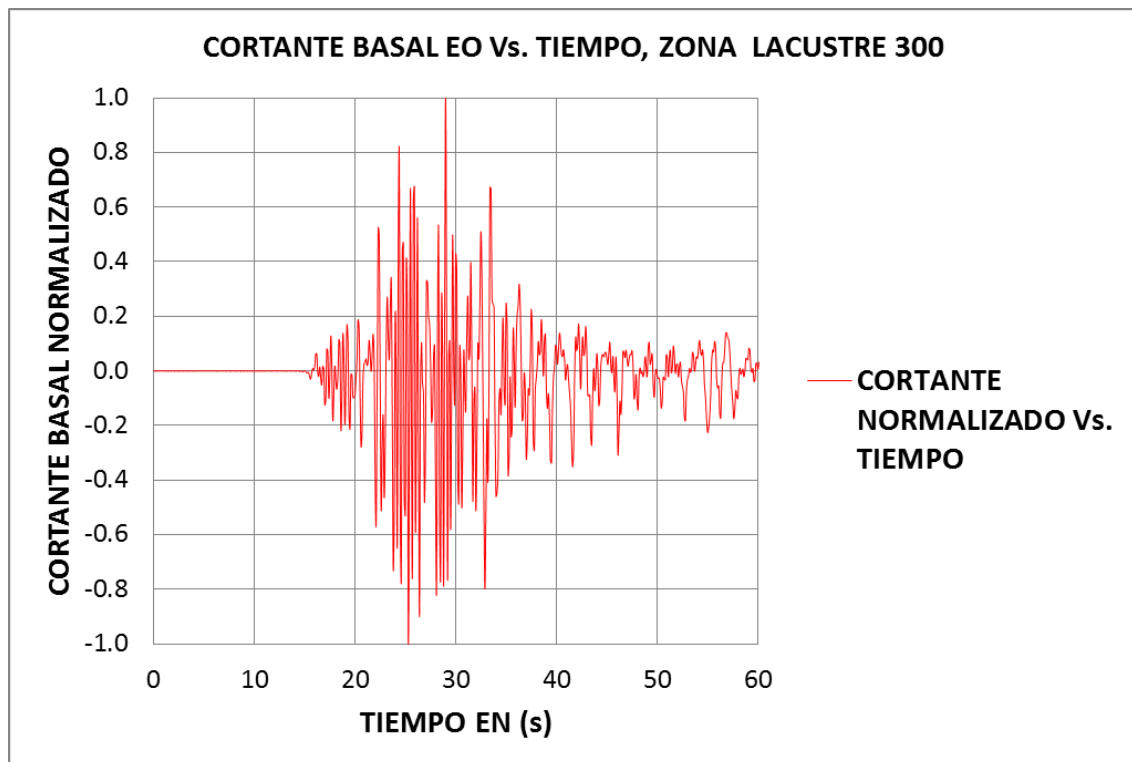


-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CREAC y NSR-10, sentido EO:





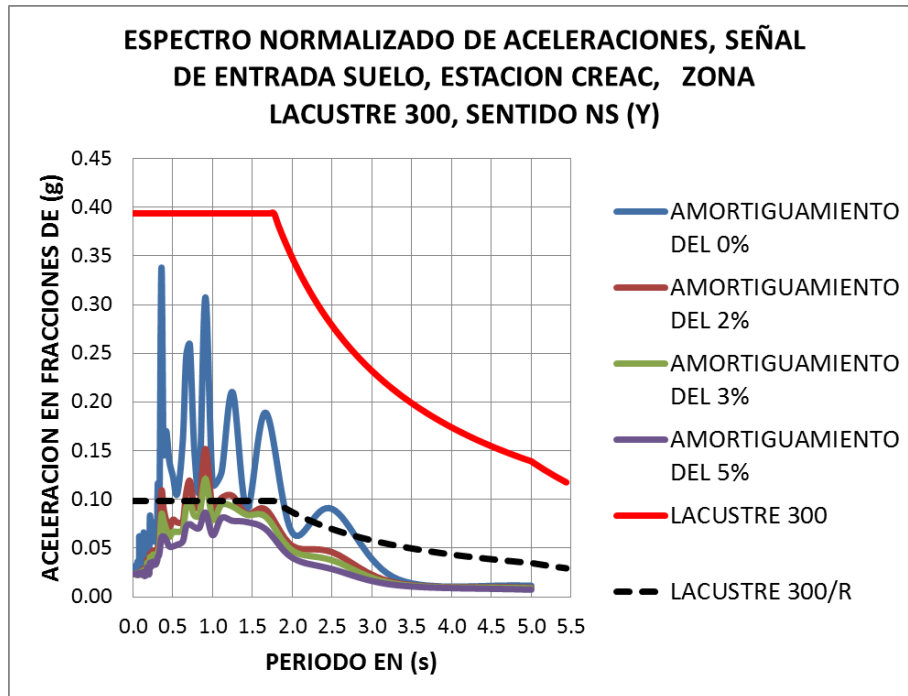
Fuente: Elaboración propia



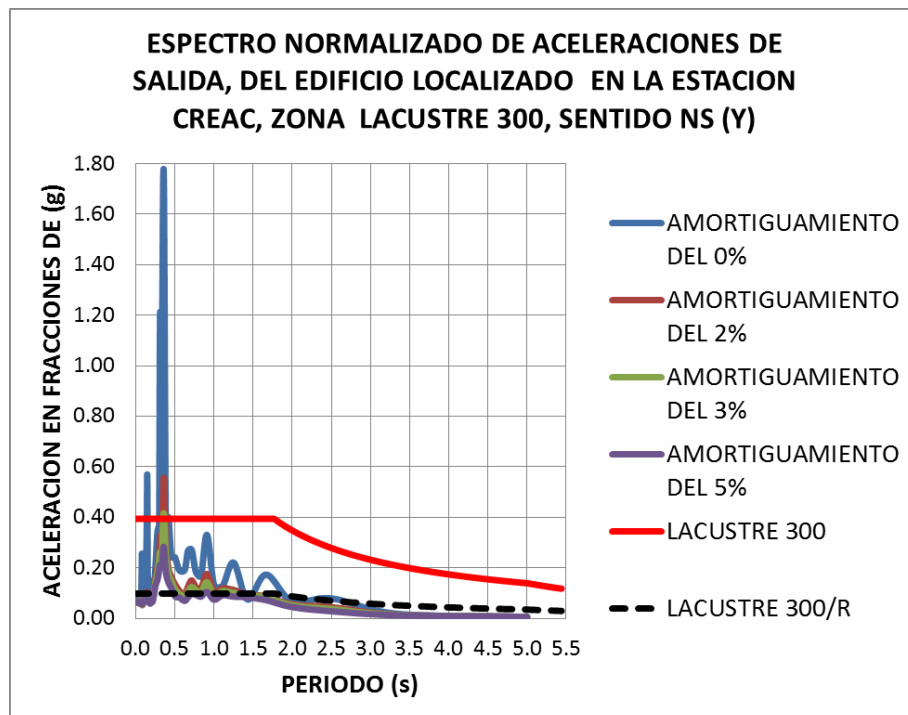
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CREAC, LACUSTRE 300, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CREAC y NSR-10, sentido NS:

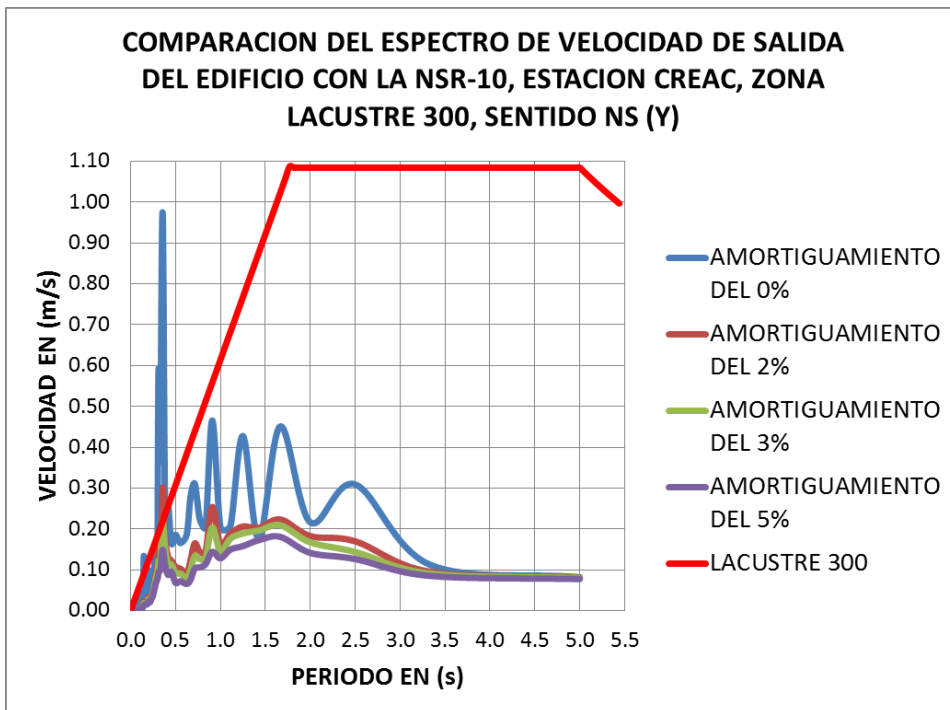
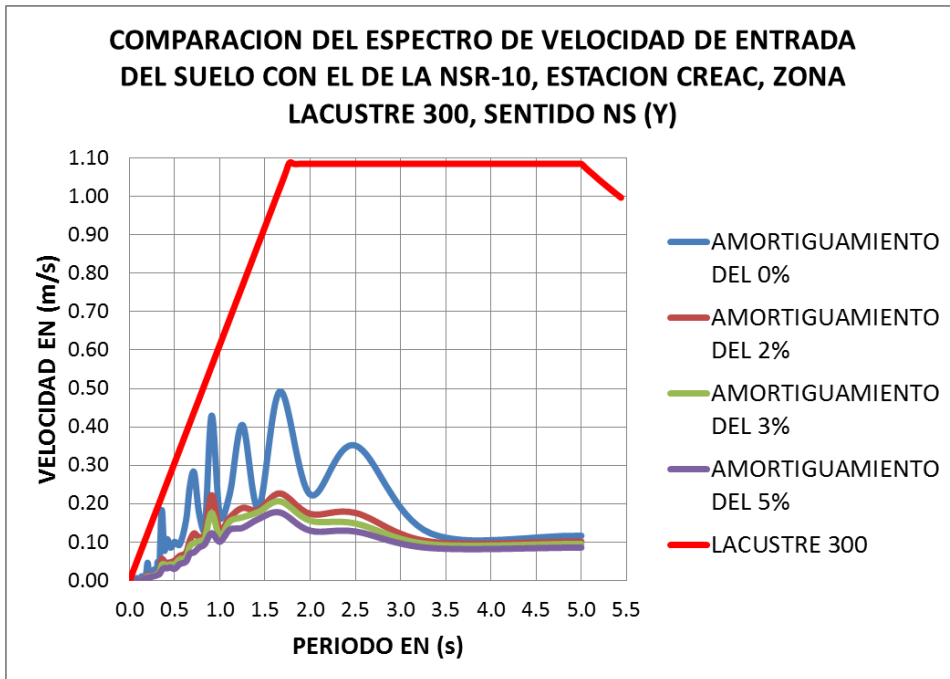


Fuente: Elaboración propia

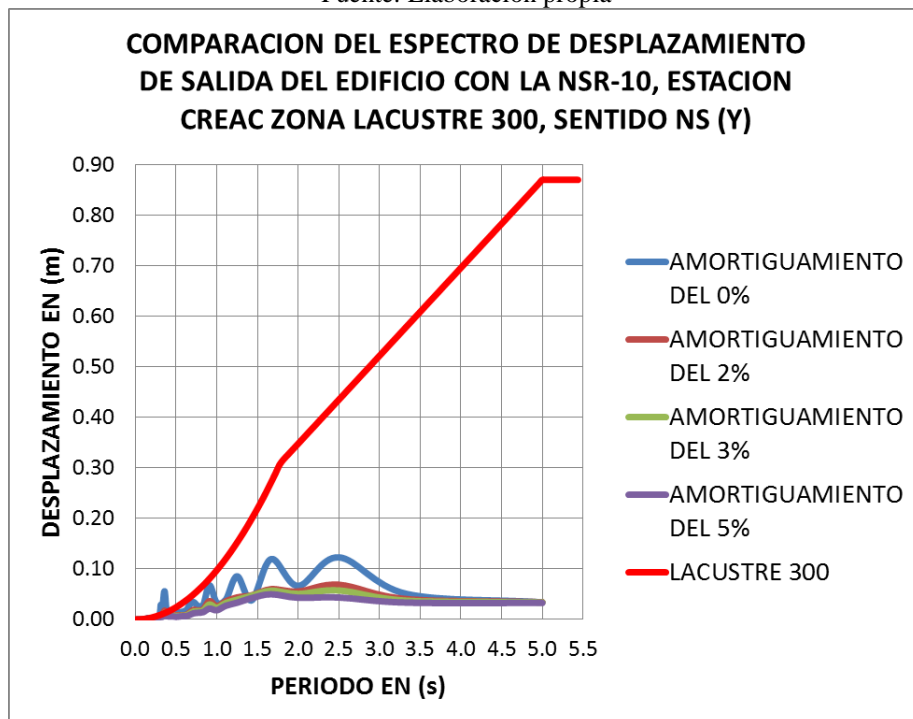
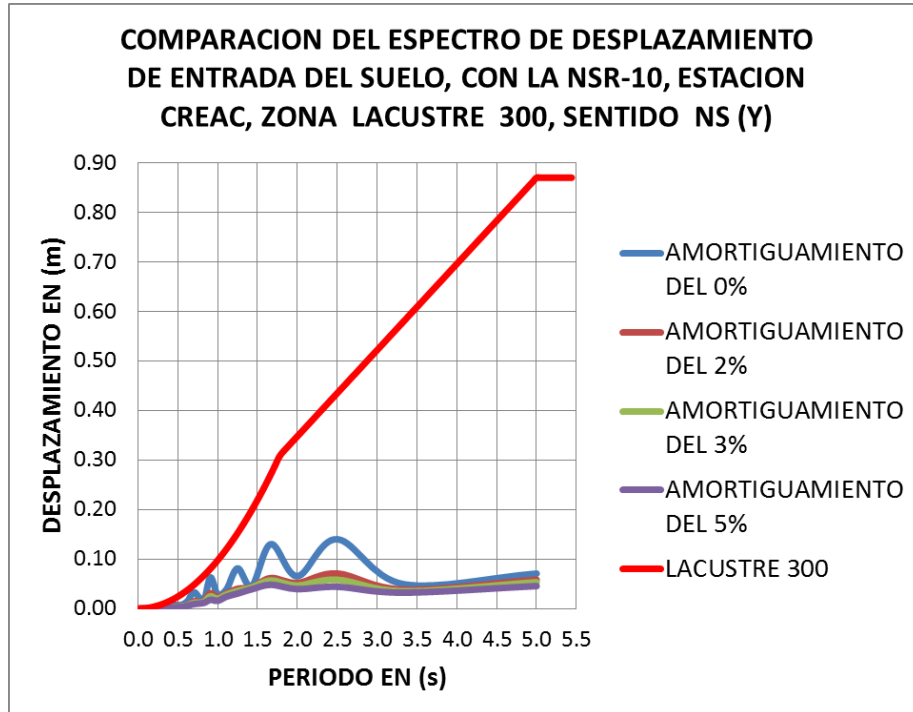


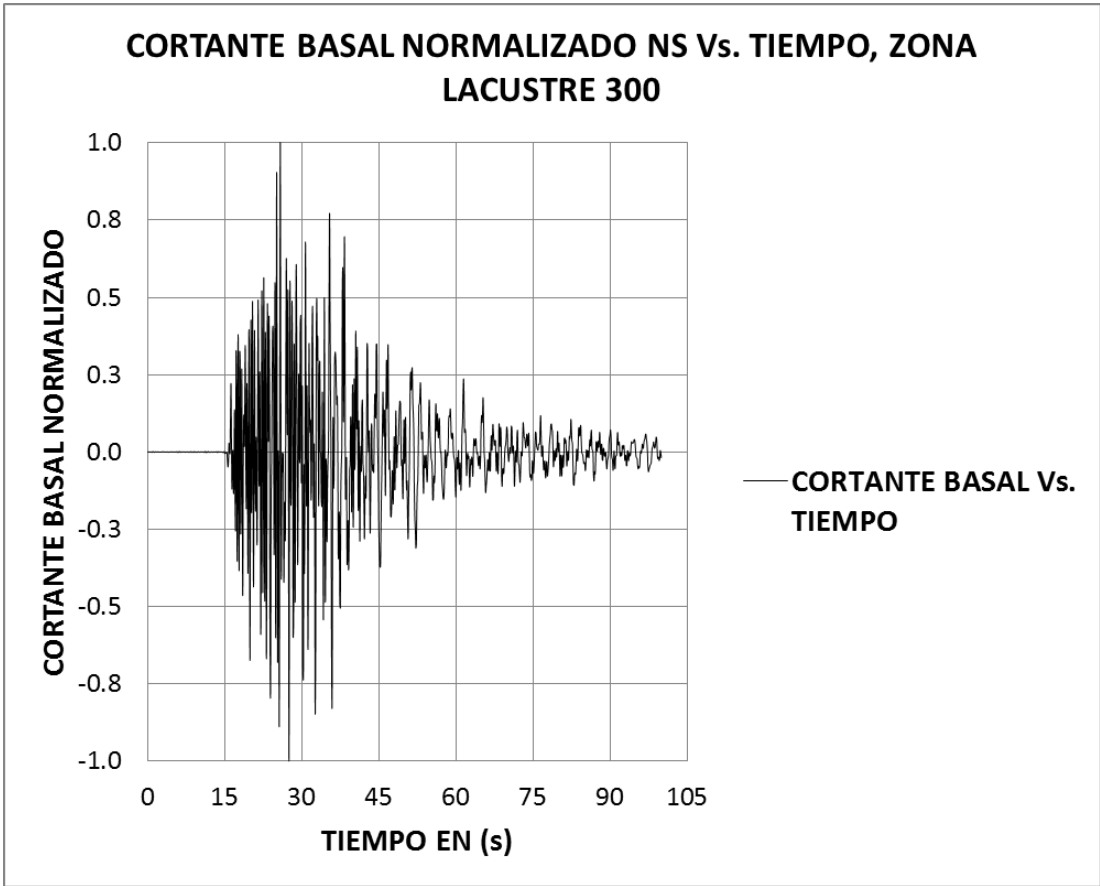
Fuente: Elaboración propia

-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CREAC y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CREAC y NSR-10, sentido NS:



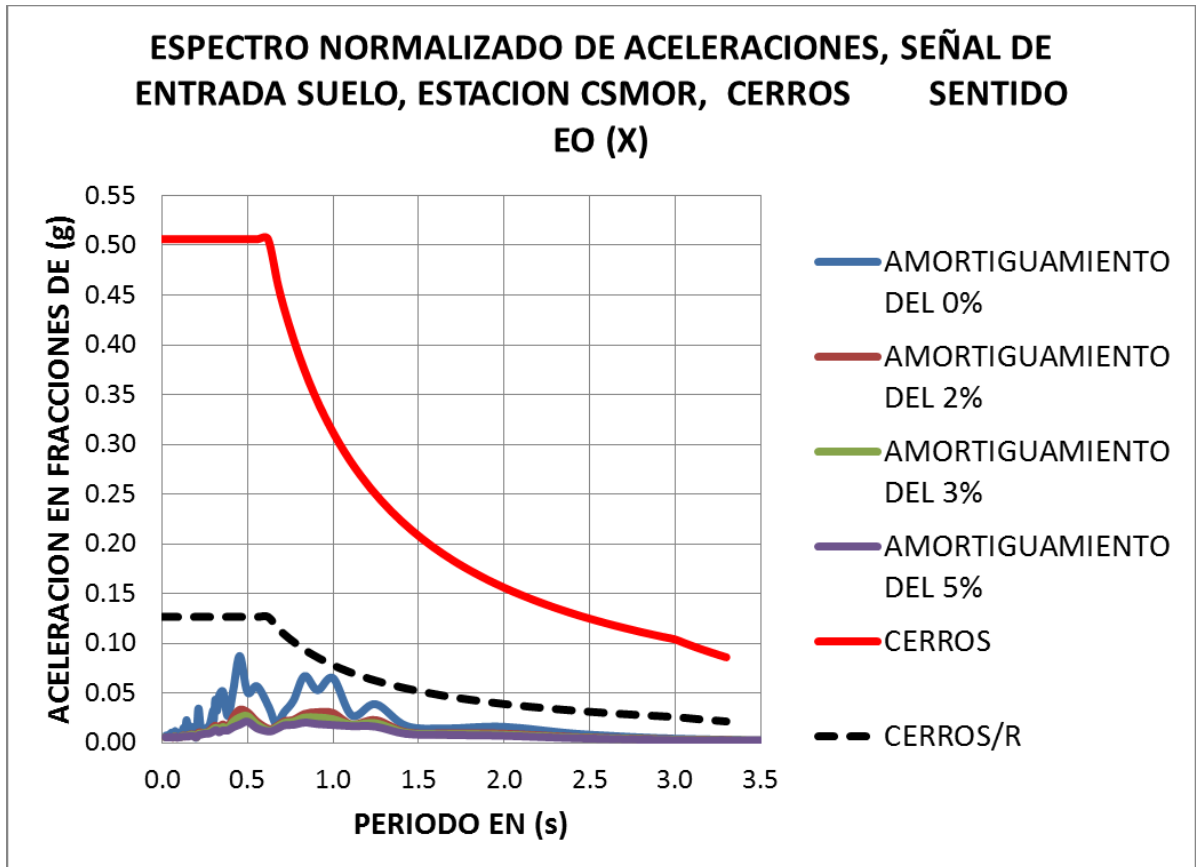


Fuente: Elaboración propia

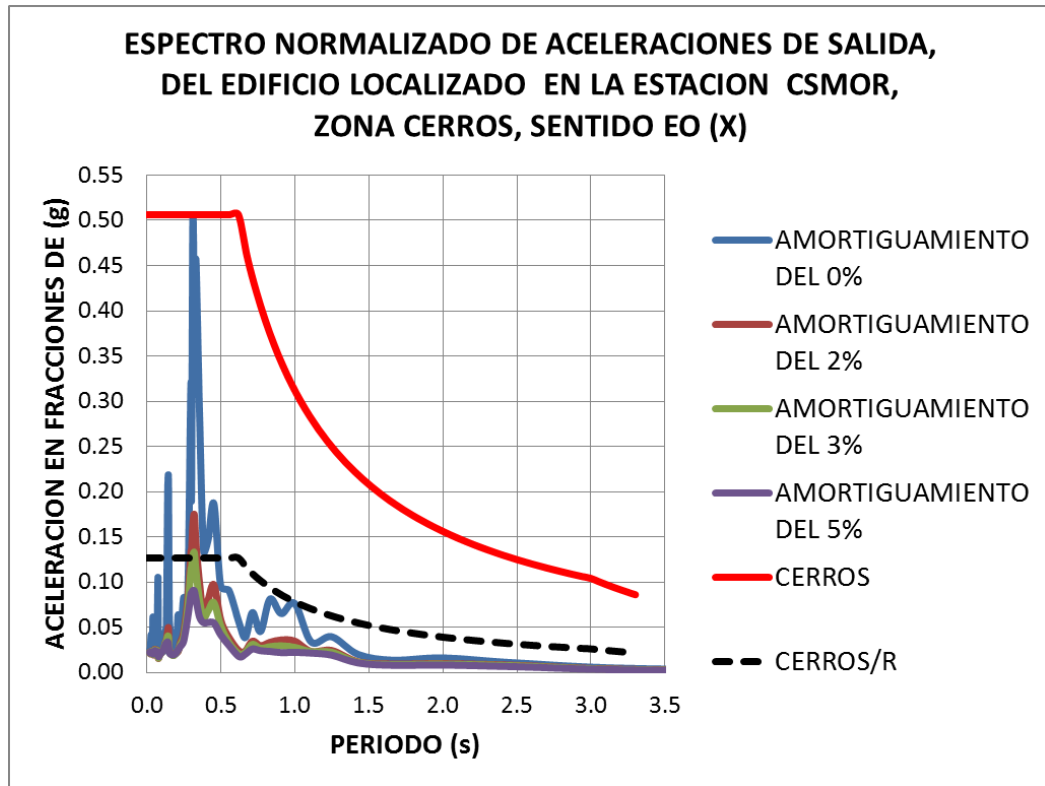
- 16) **Estación Colegio Sierra Morena:** El código en la RAB es CSMOR, ubicado en la Calle 77 A Sur # 65-15. La estación se localiza en la zona **CERROS** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CSMOR, CERROS, SENTIDO EO (X):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CSMOR y NSR-10, sentido EO:

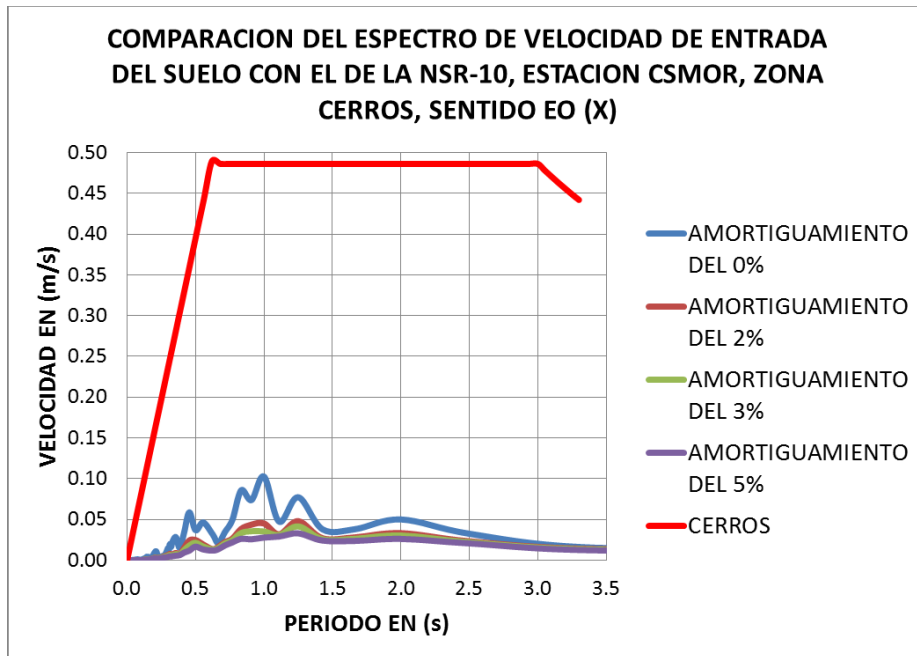


Fuente: Elaboración propia

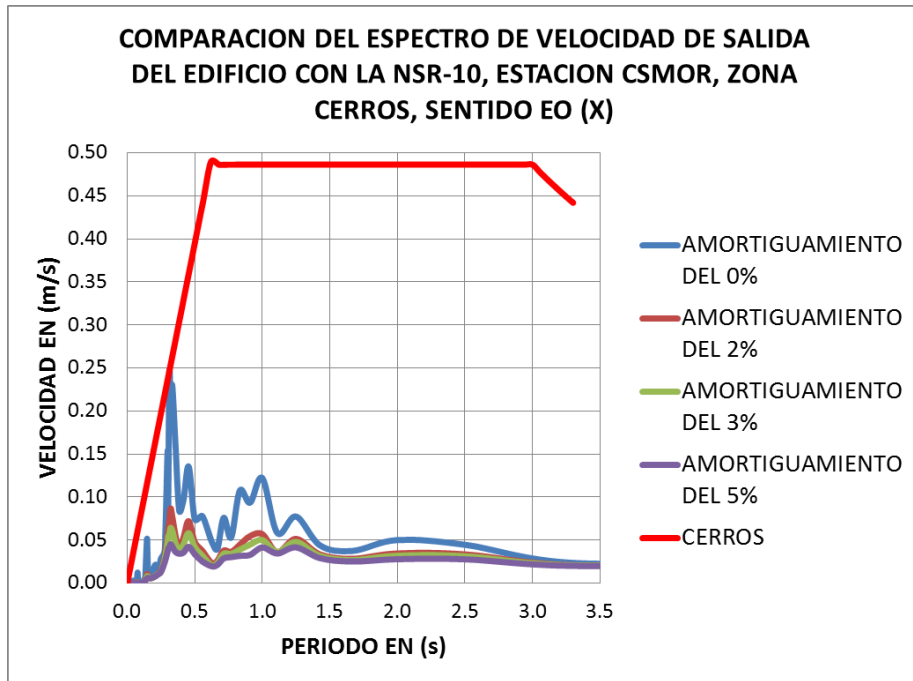


Fuente: Elaboración propia

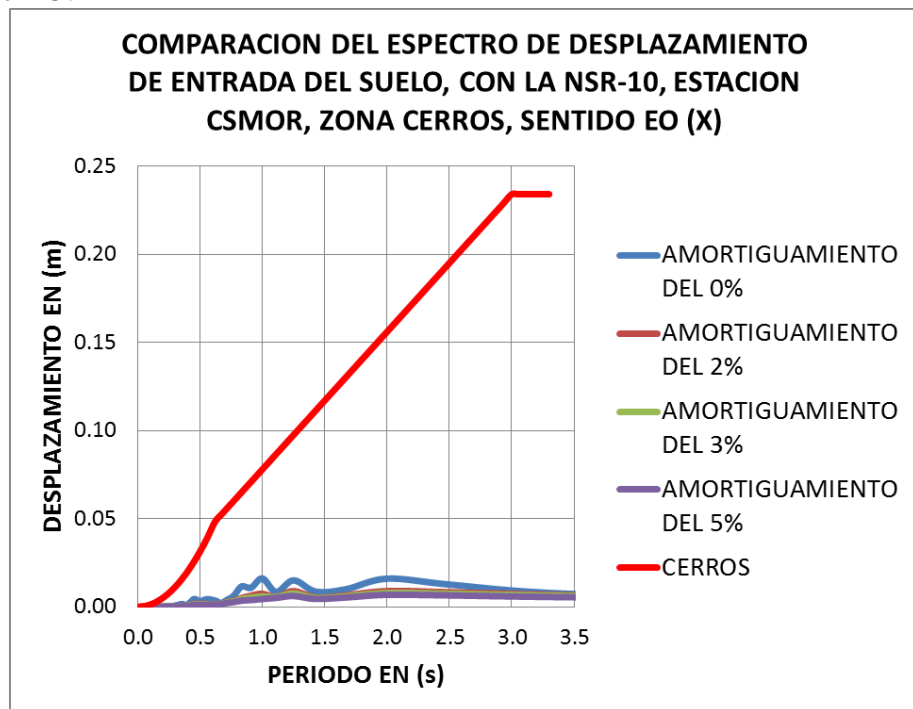
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CSMOR y NSR-10, sentido EO:

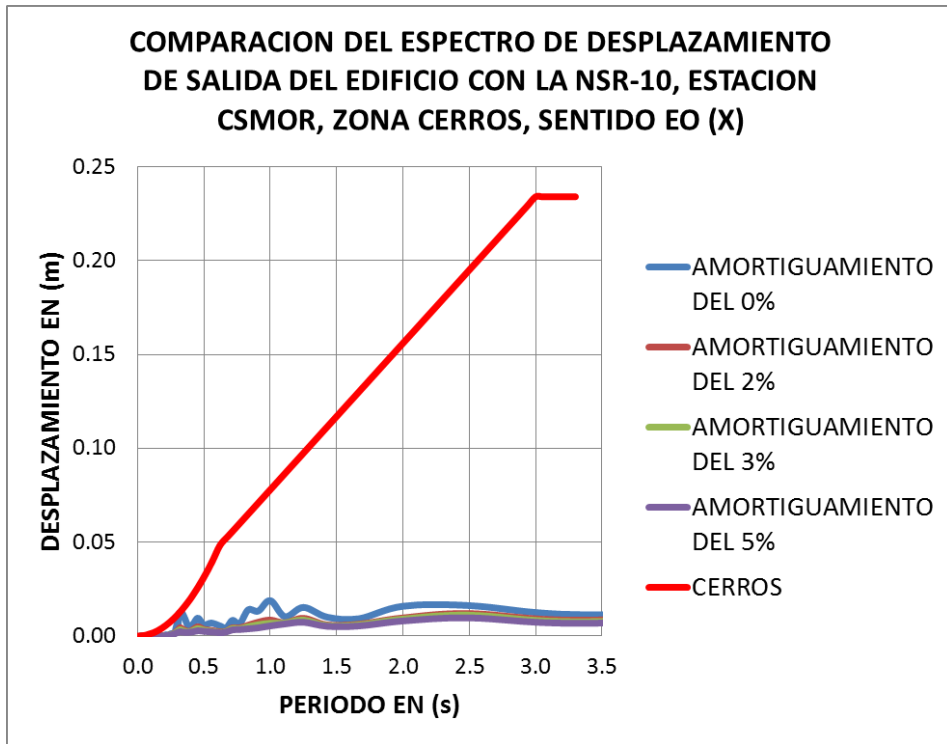


Fuente: Elaboración propia

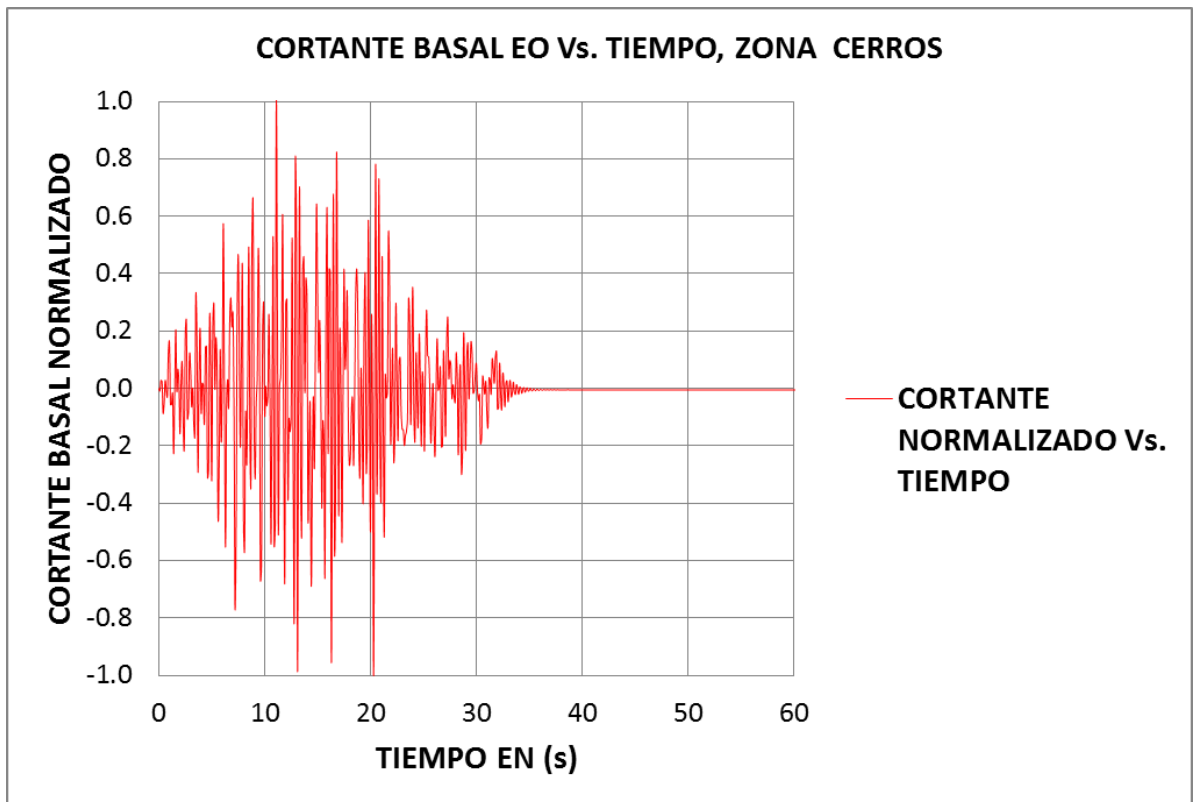


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CSMOR y NSR-10, sentido EO:





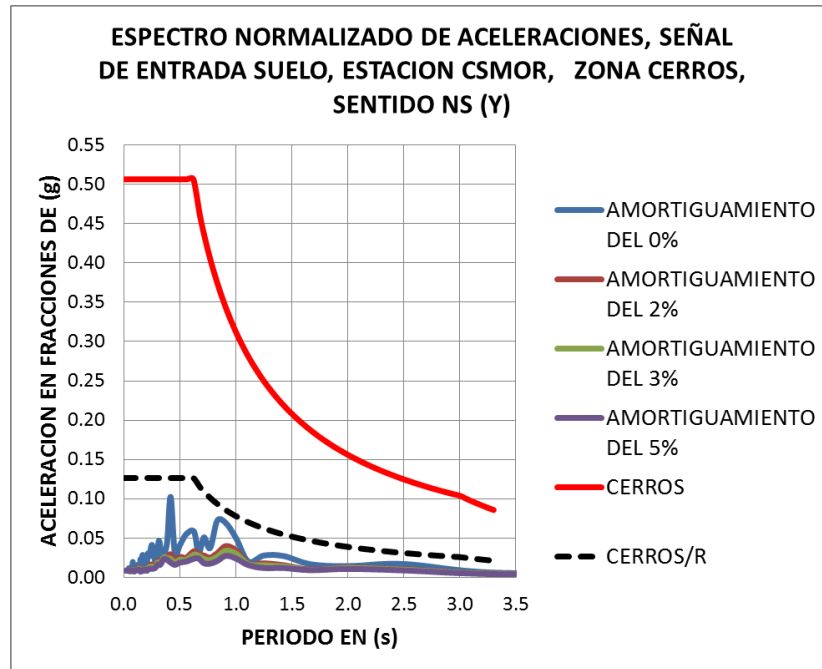
Fuente: Elaboración propia



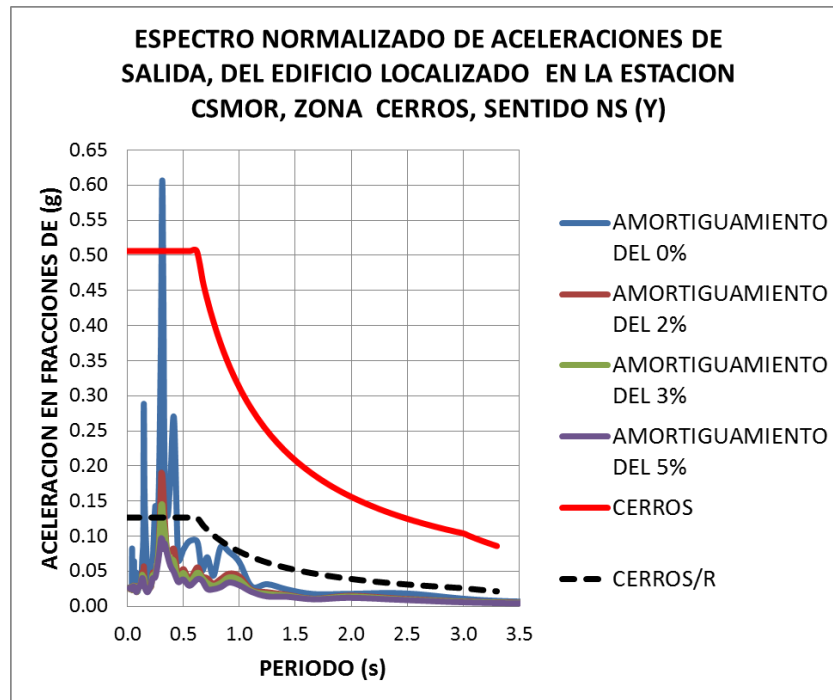
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CSMOR, CERROS, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CSMOR y NSR-10, sentido NS:

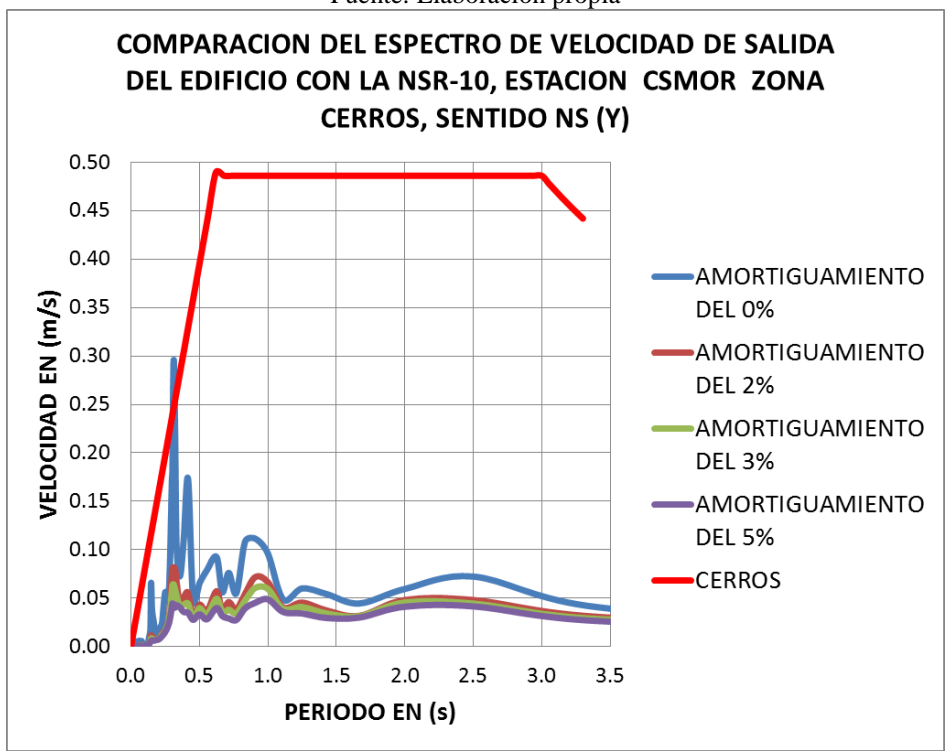
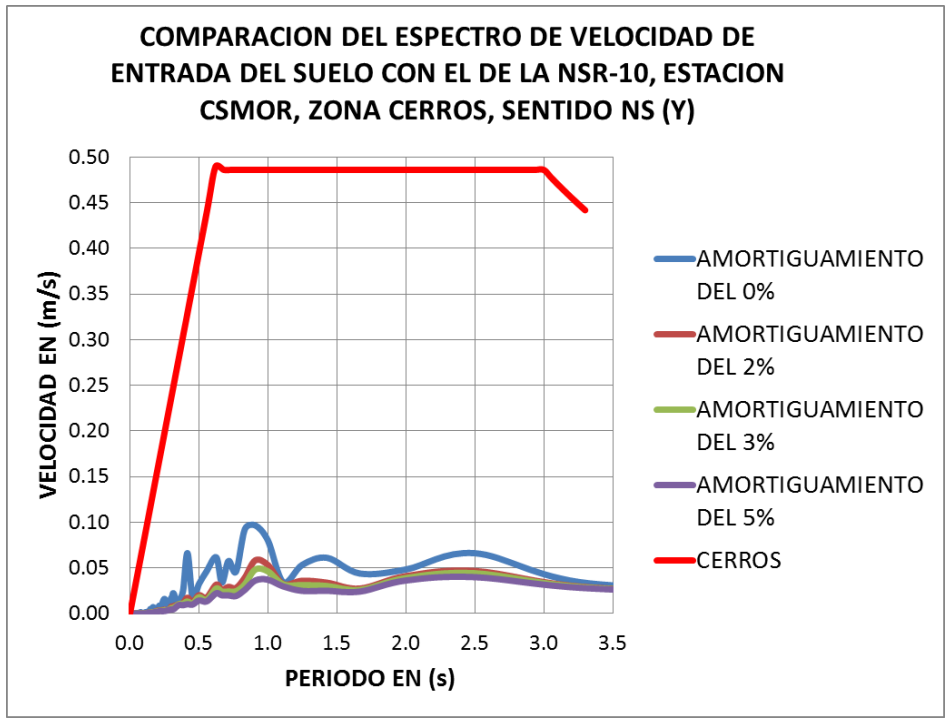


Fuente: Elaboración propia

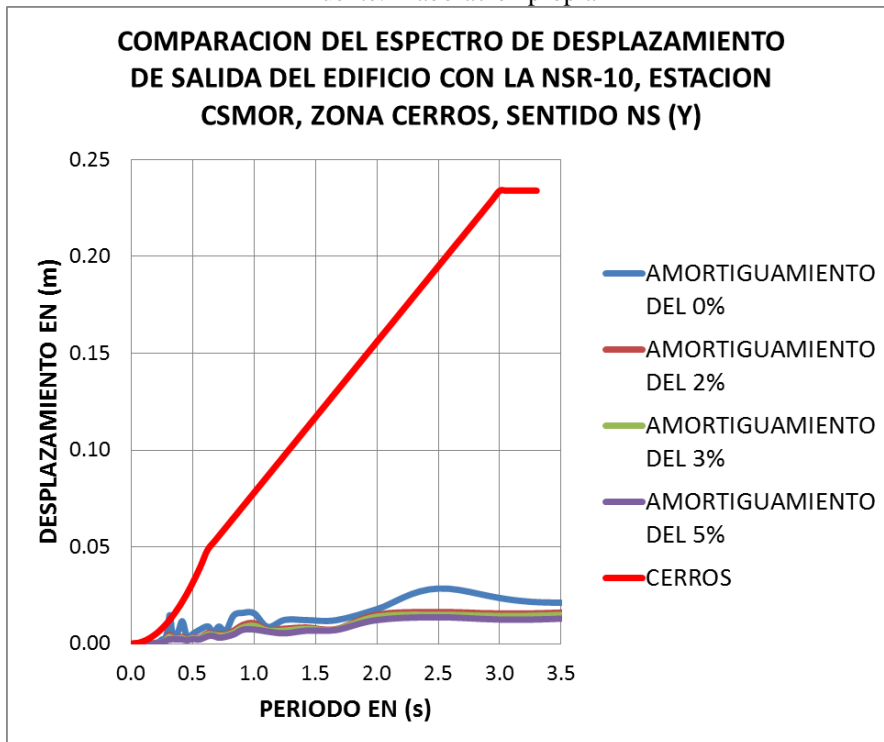
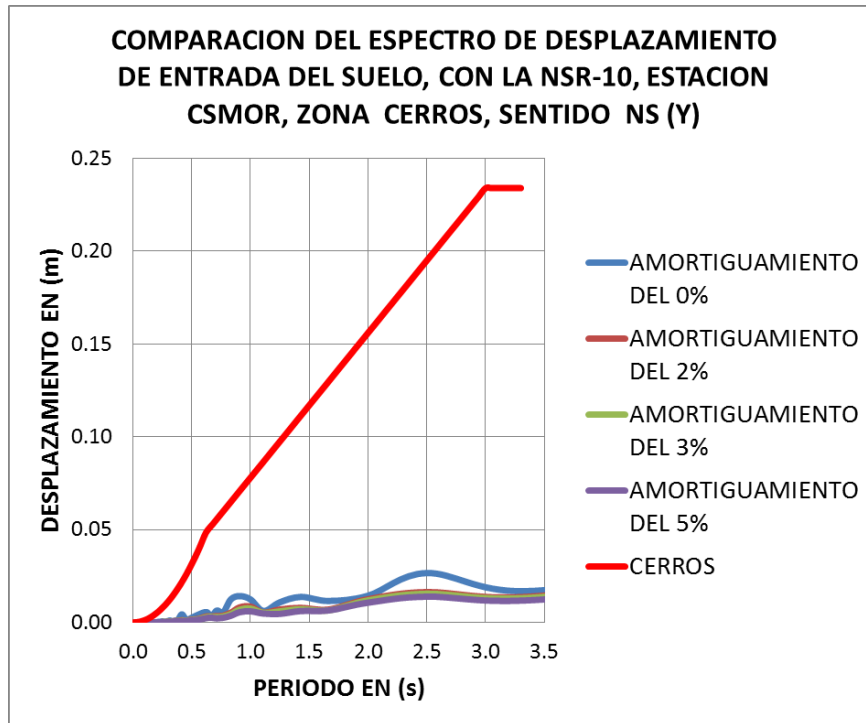


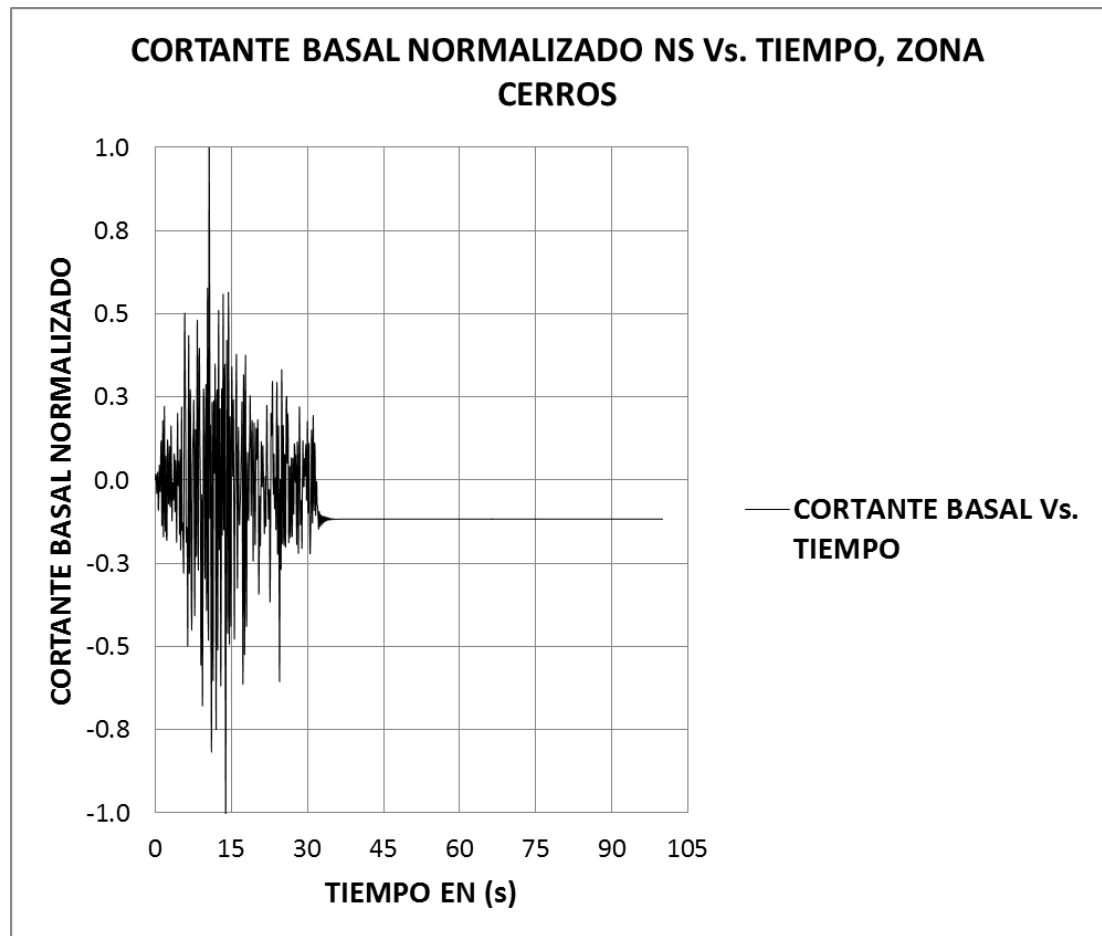
Fuente: Elaboración propia

-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CSMOR y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CSMOR y NSR-10, sentido NS:



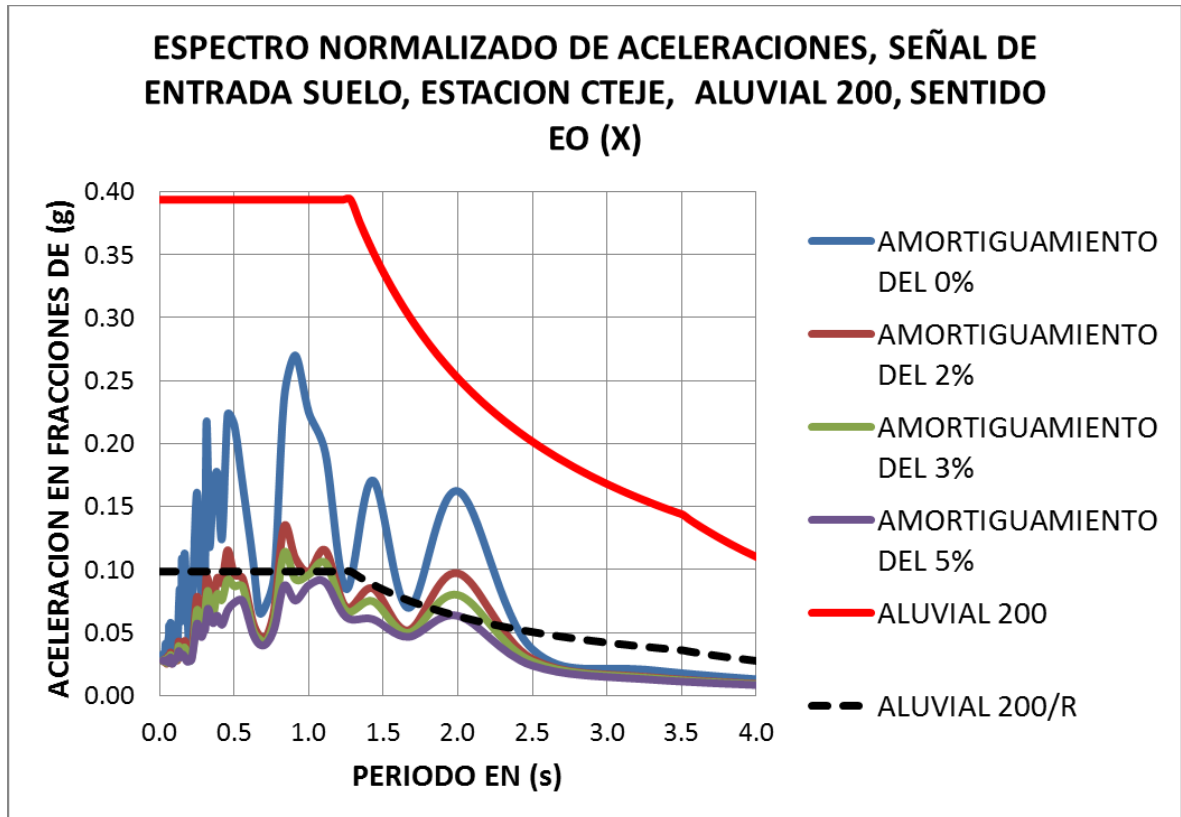


Fuente: Elaboración propia

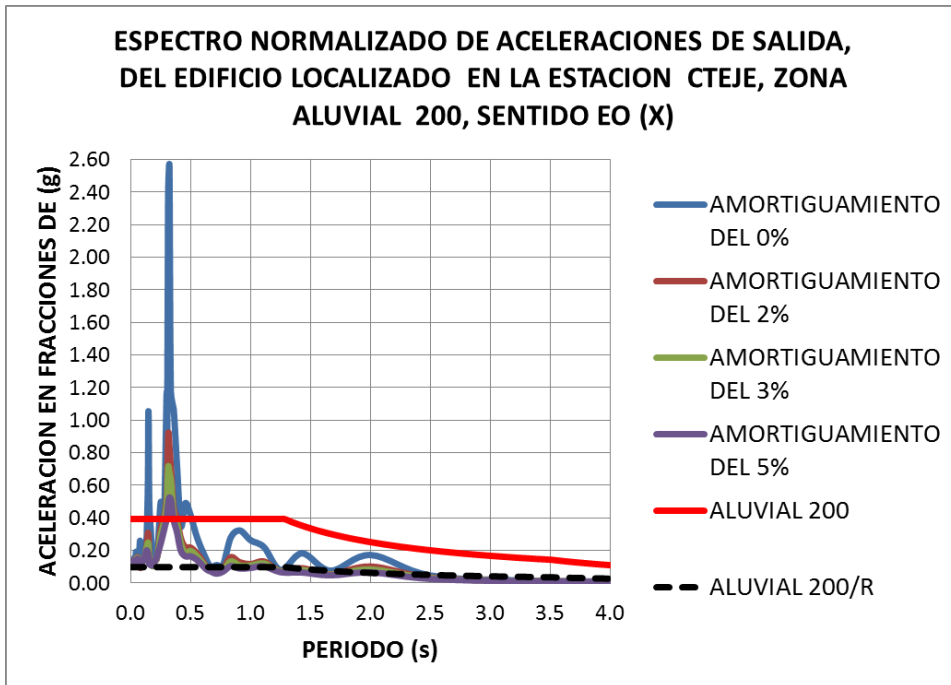
17) *Estación Escuela de Tejedores:* El código en la RAB es CTEJE, ubicado en la Carrera 32 # 12-55. La estación se localiza en la zona **ALUVIAL 200** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CTEJE, ALUVIAL 200, SENTIDO EO (X):

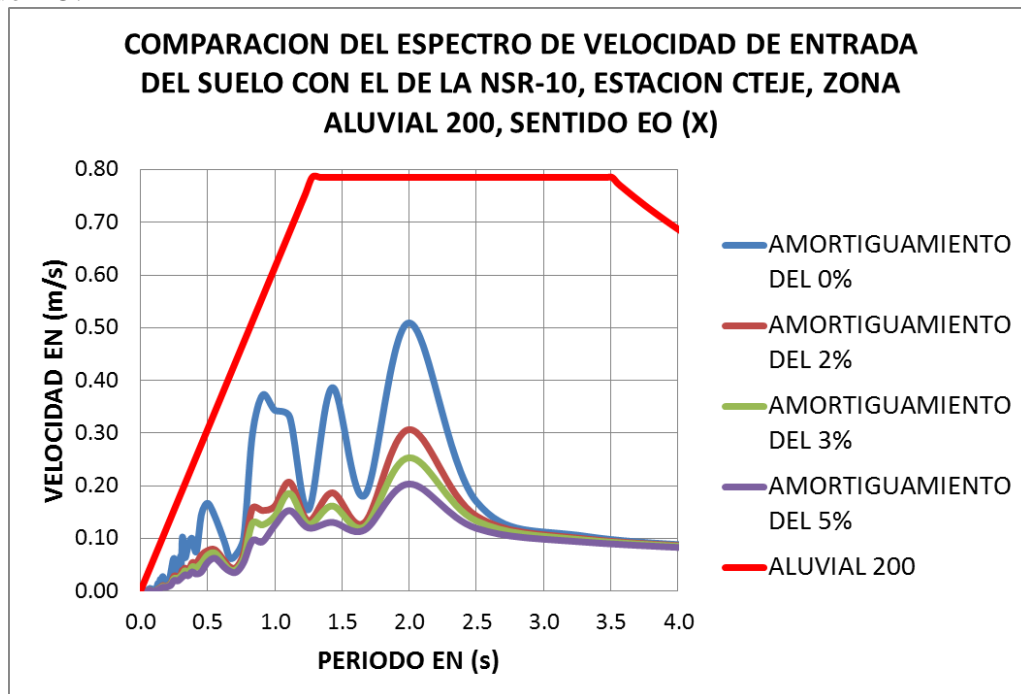
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTEJE y NSR-10, sentido EO:

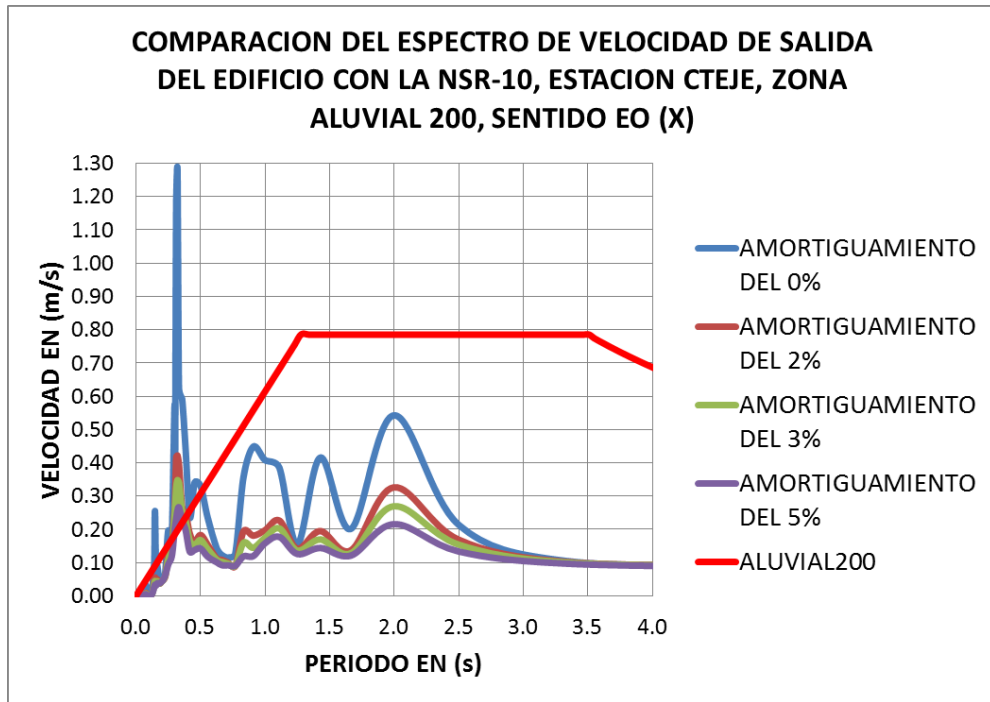


Fuente: Elaboración propia

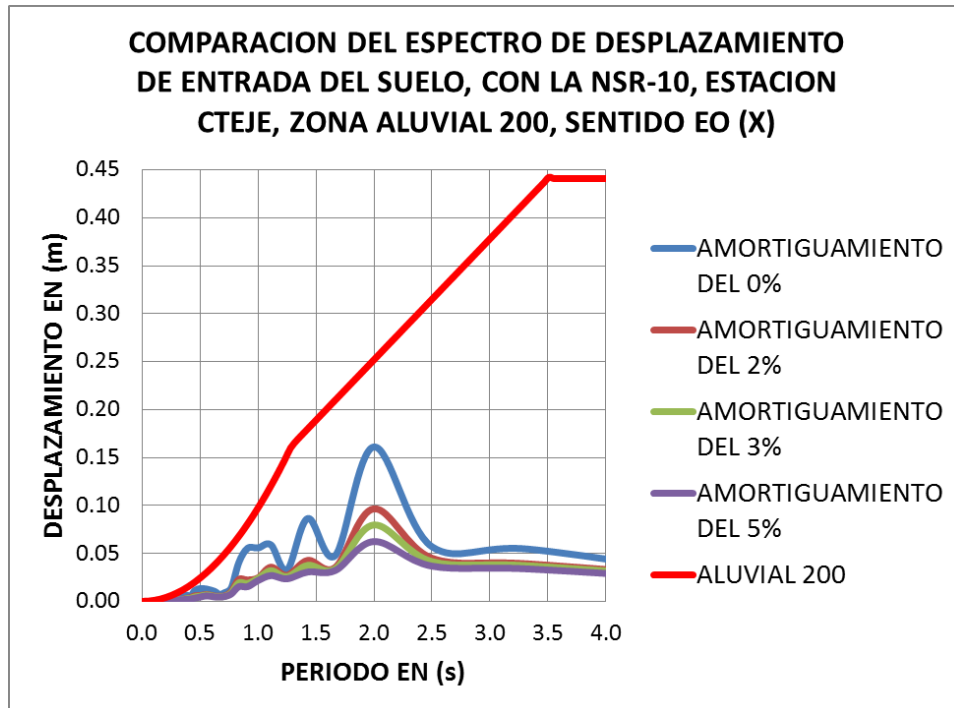


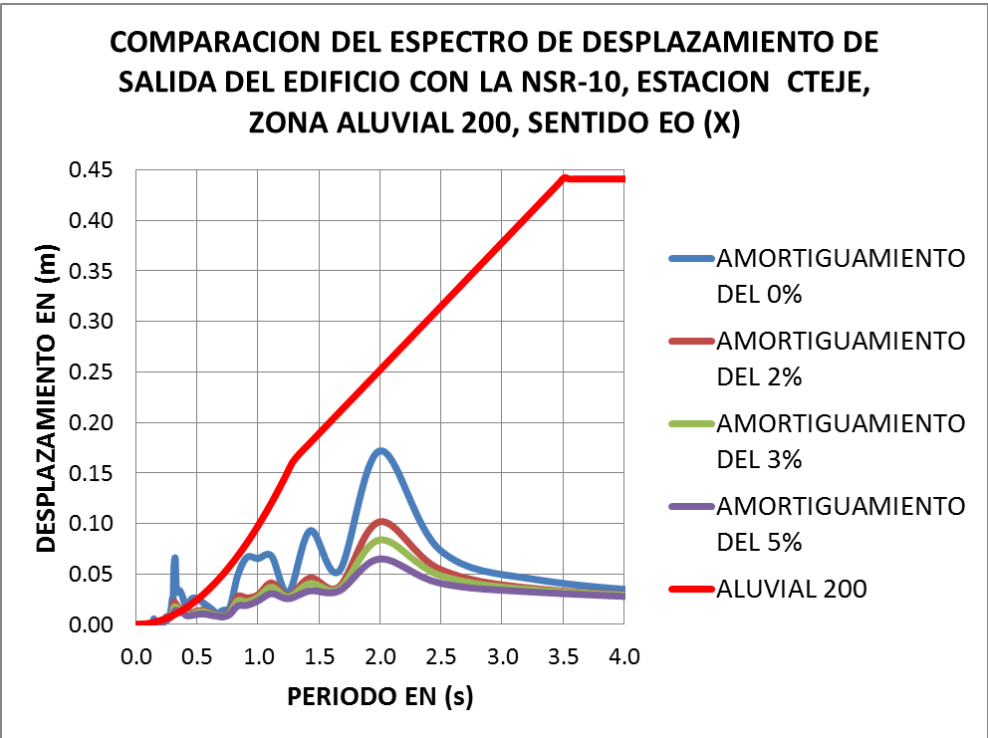
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTEJE y NSR-10, sentido EO:



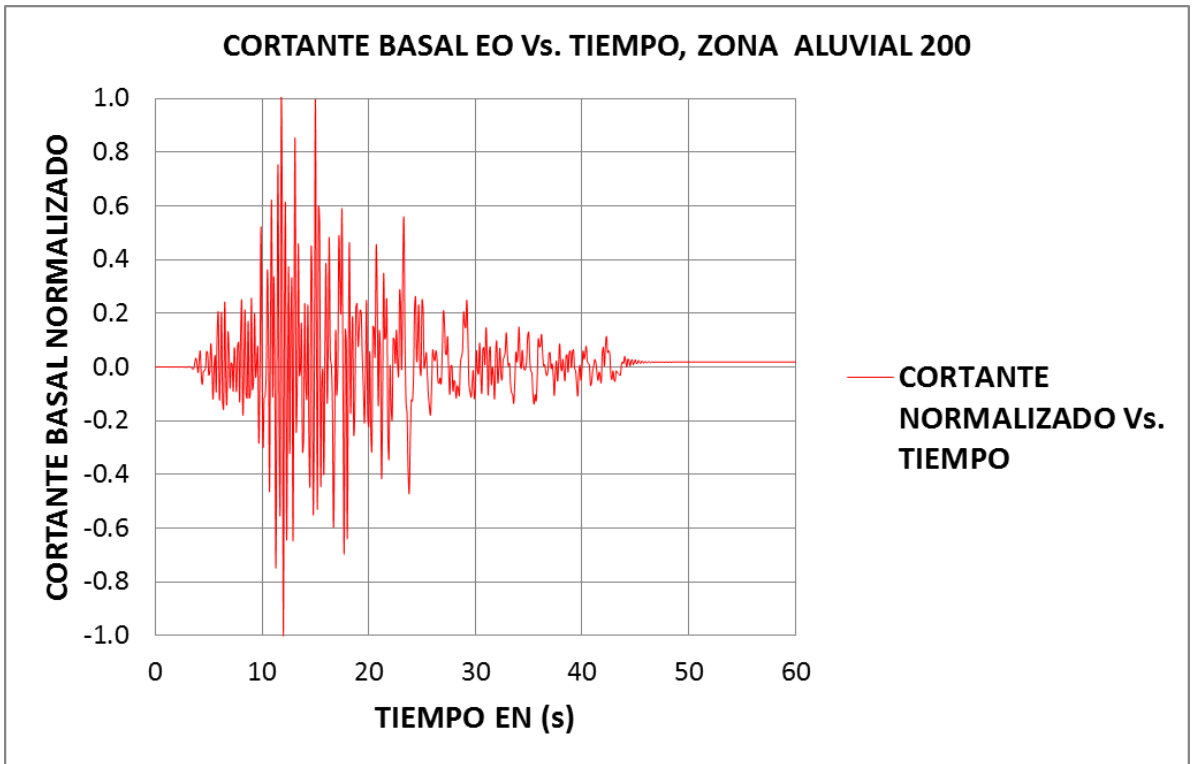


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTEJE y NSR-10, sentido EO:





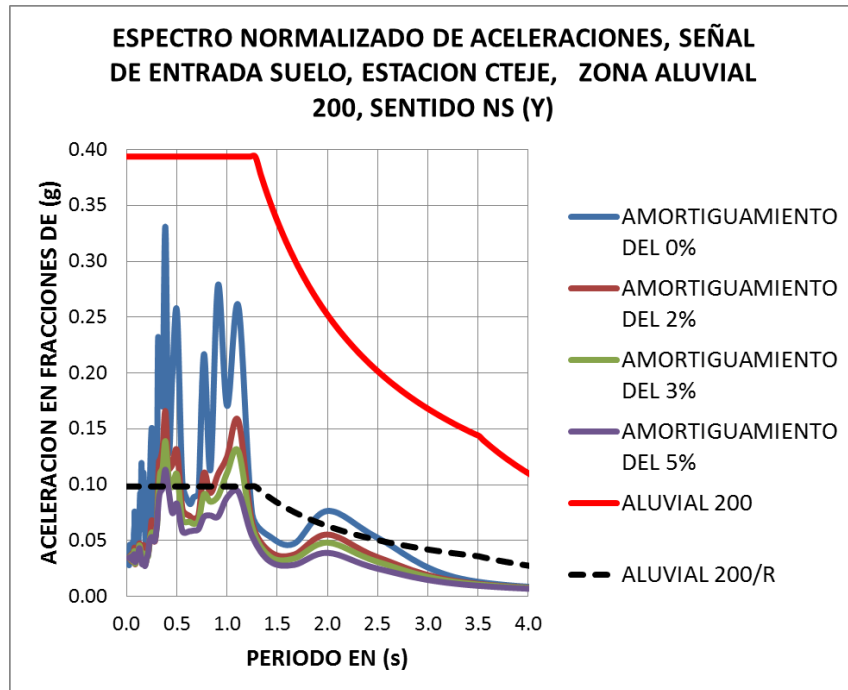
Fuente: Elaboración propia



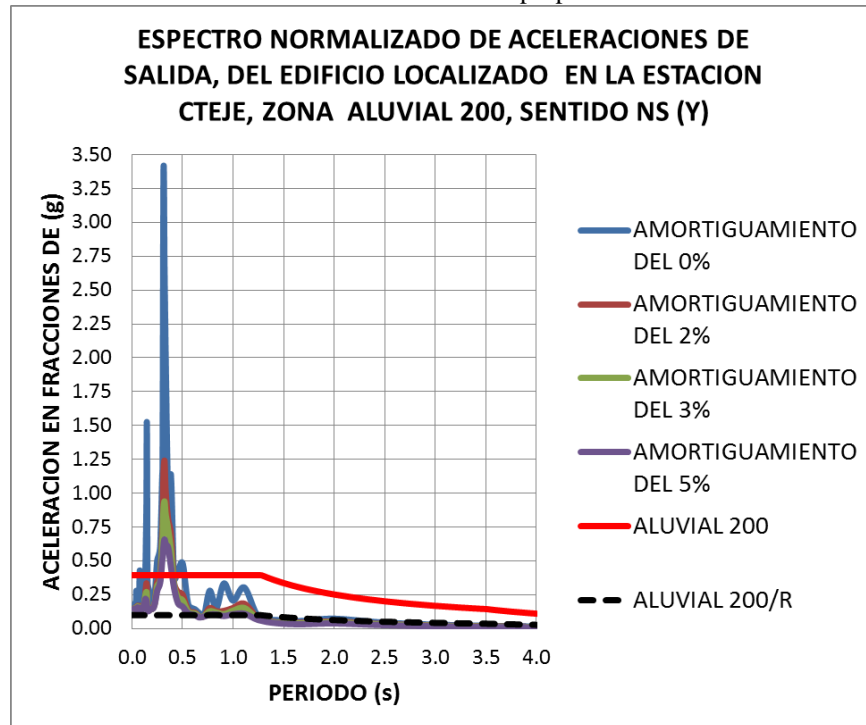
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CTEJE, ALUVIAL 200, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTEJE y NSR-10, sentido NS:

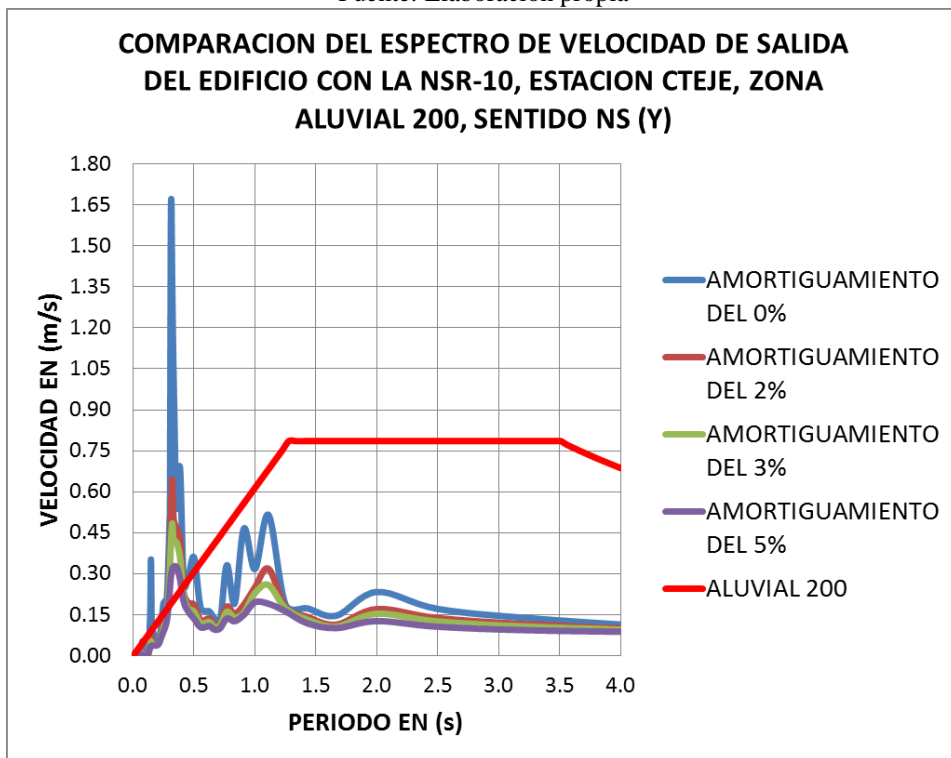
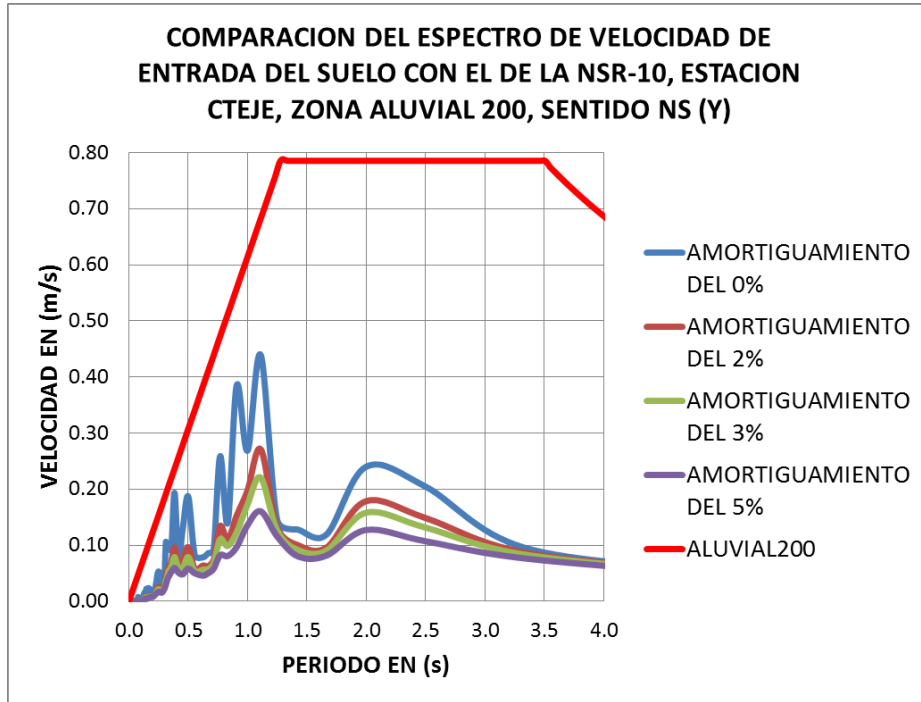


Fuente: Elaboración propia

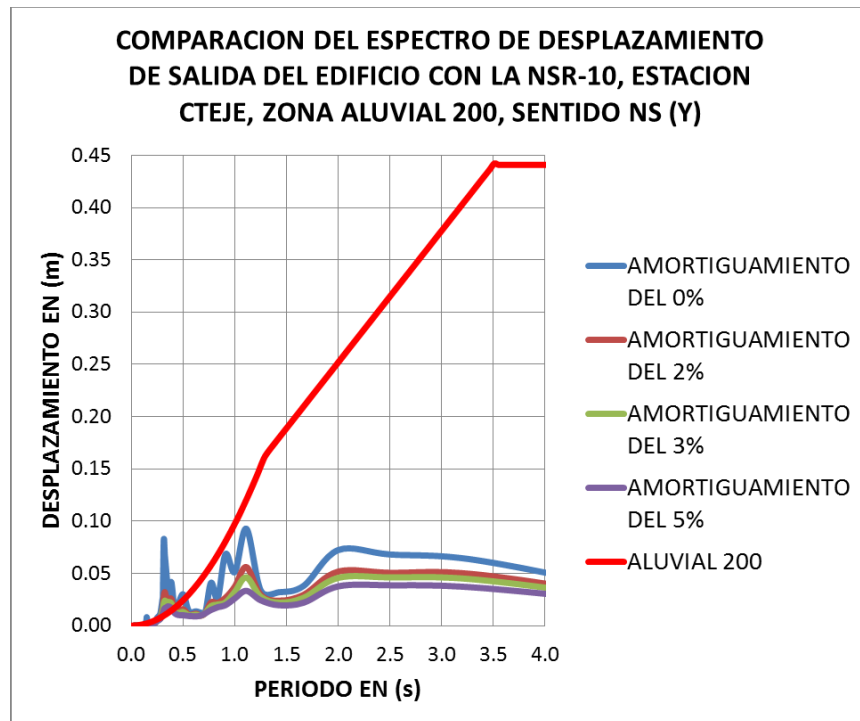
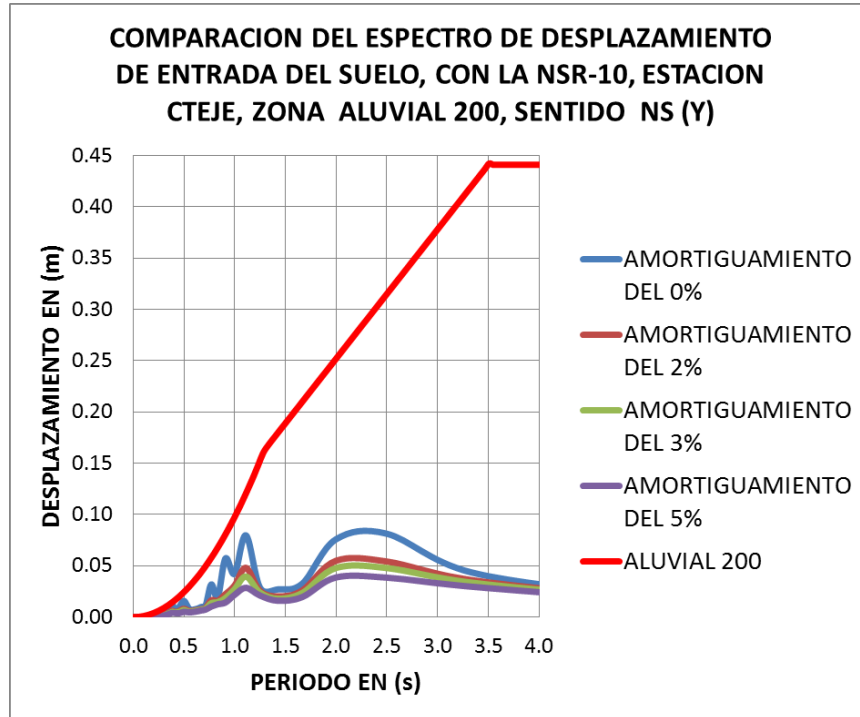


Fuente: Elaboración propia

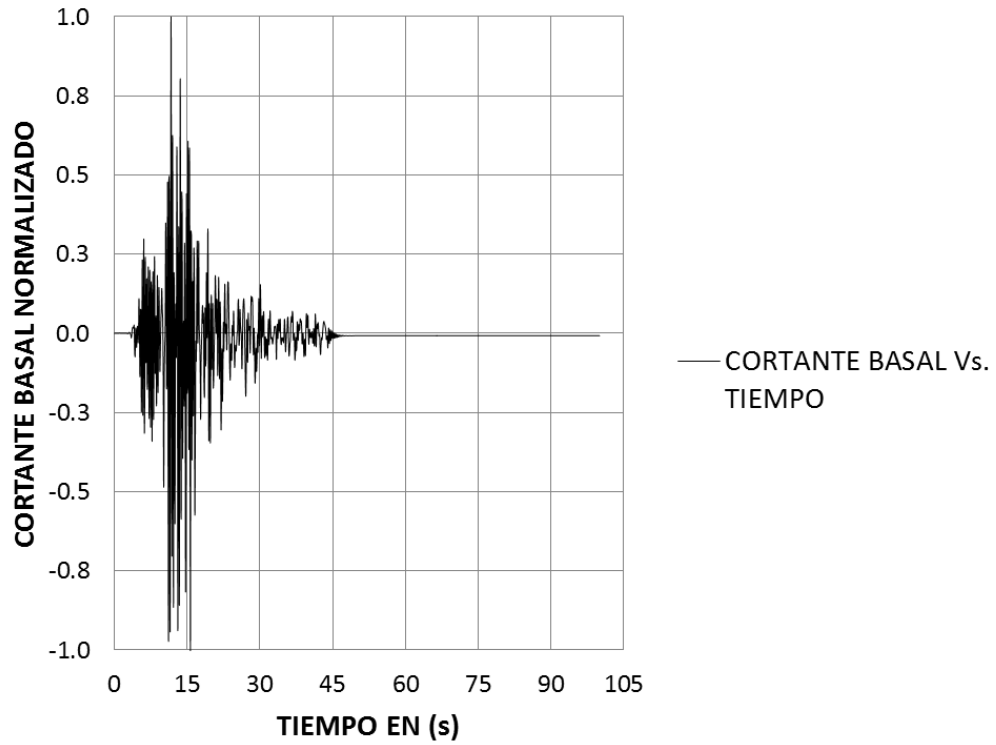
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTEJE y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTEJE y NSR-10, sentido NS:



CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA ALUVIAL 200

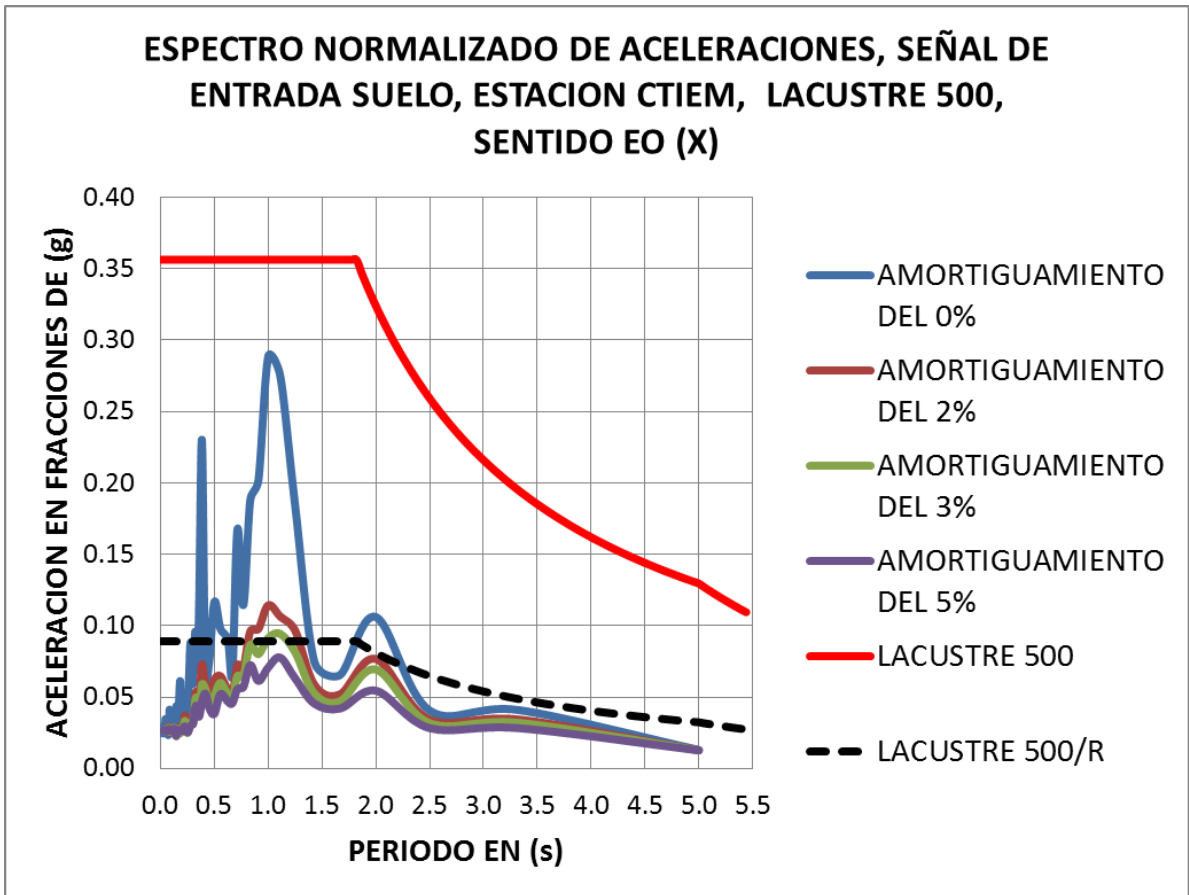


Fuente: Elaboración propia

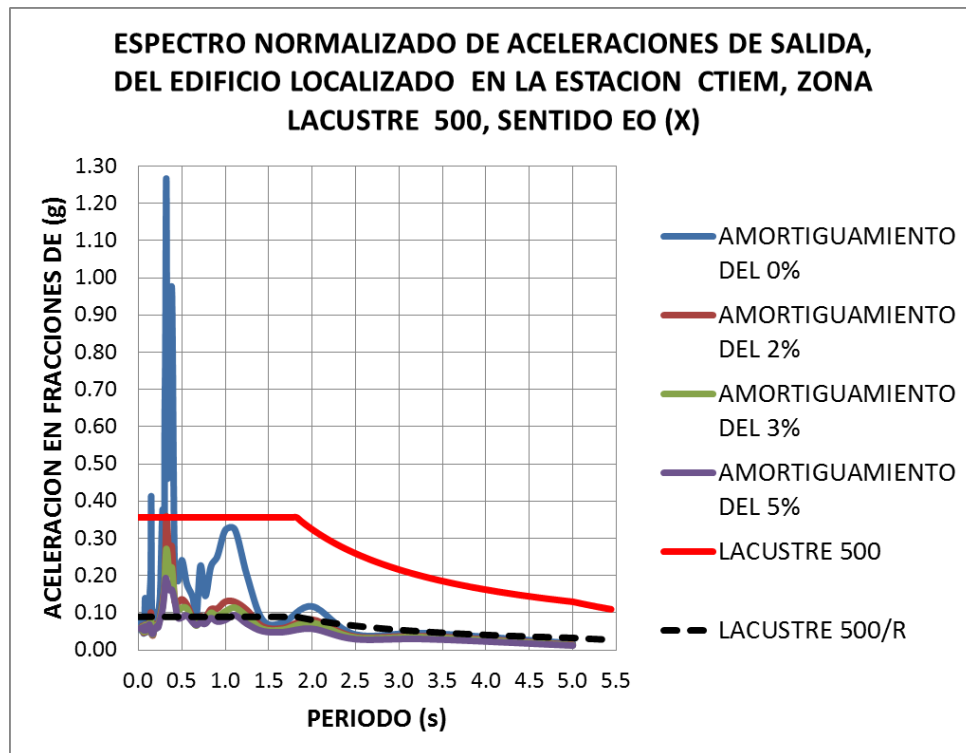
18) **Estación Escuela de Tejedores:** El código en la RAB es CTEM, ubicado en la Calle 32 # 125-01. La estación se localiza en la zona **LACUSTRE 500** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CTIEM, ALUVIAL 200, SENTIDO EO (X):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTIEM y NSR-10, sentido EO:

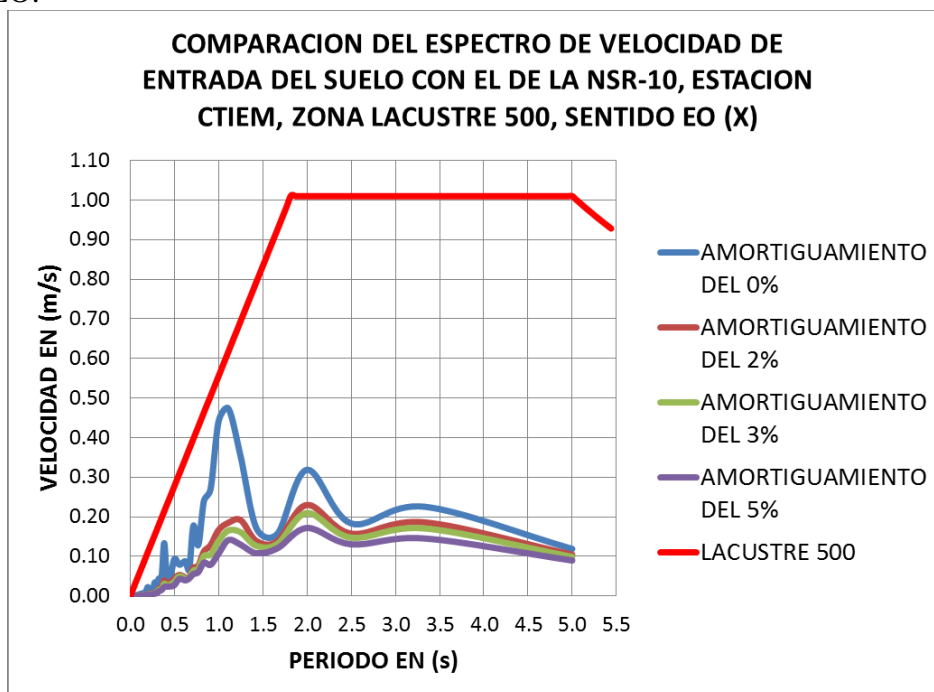


Fuente: Elaboración propia

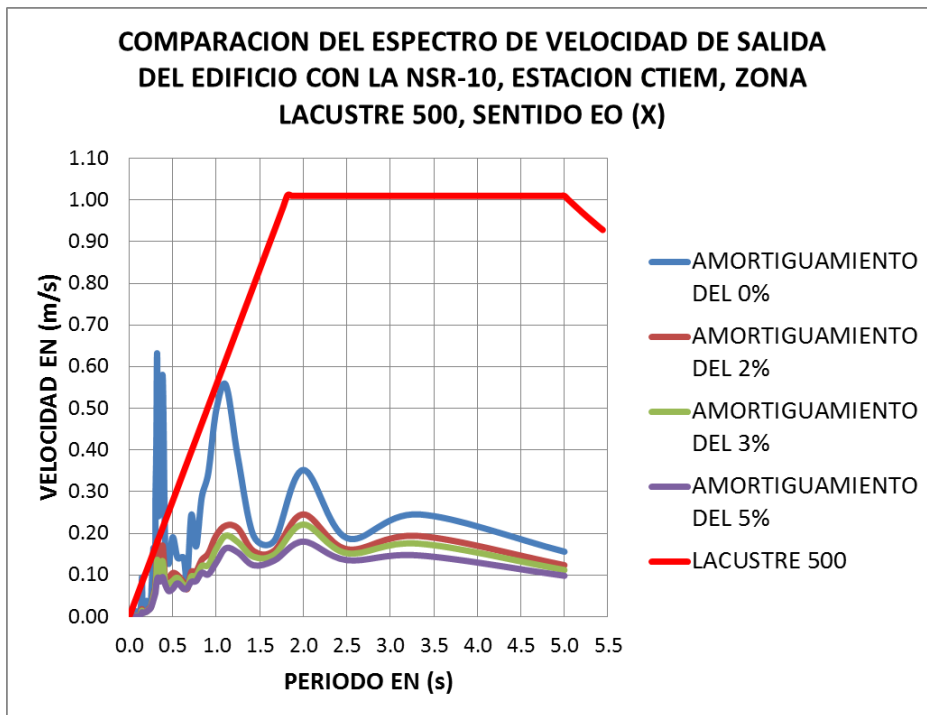


Fuente: Elaboración propia

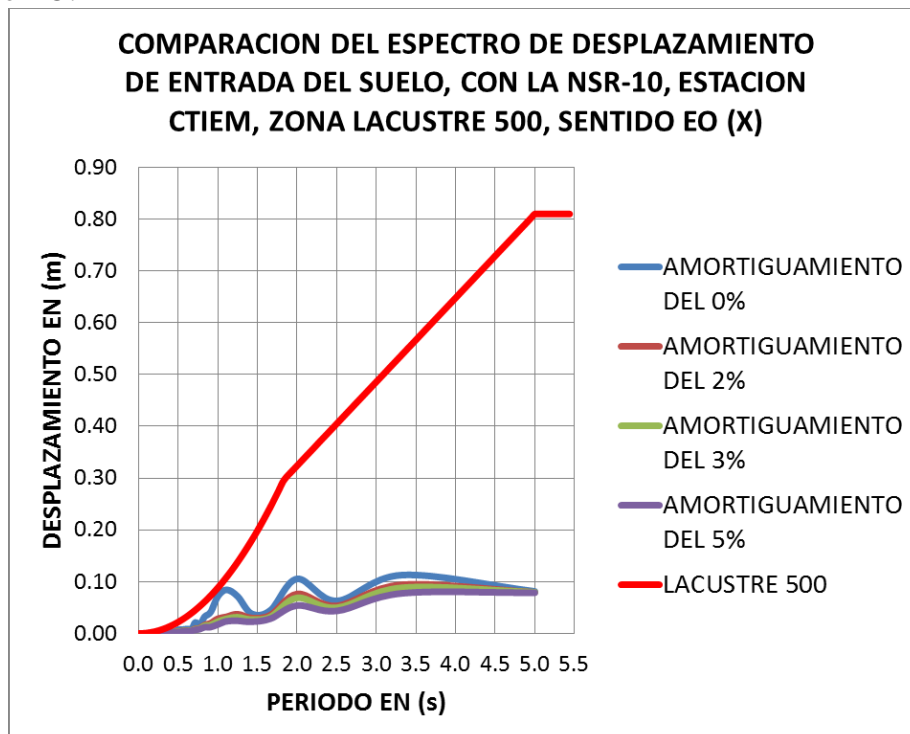
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTIEM y NSR-10, sentido EO:

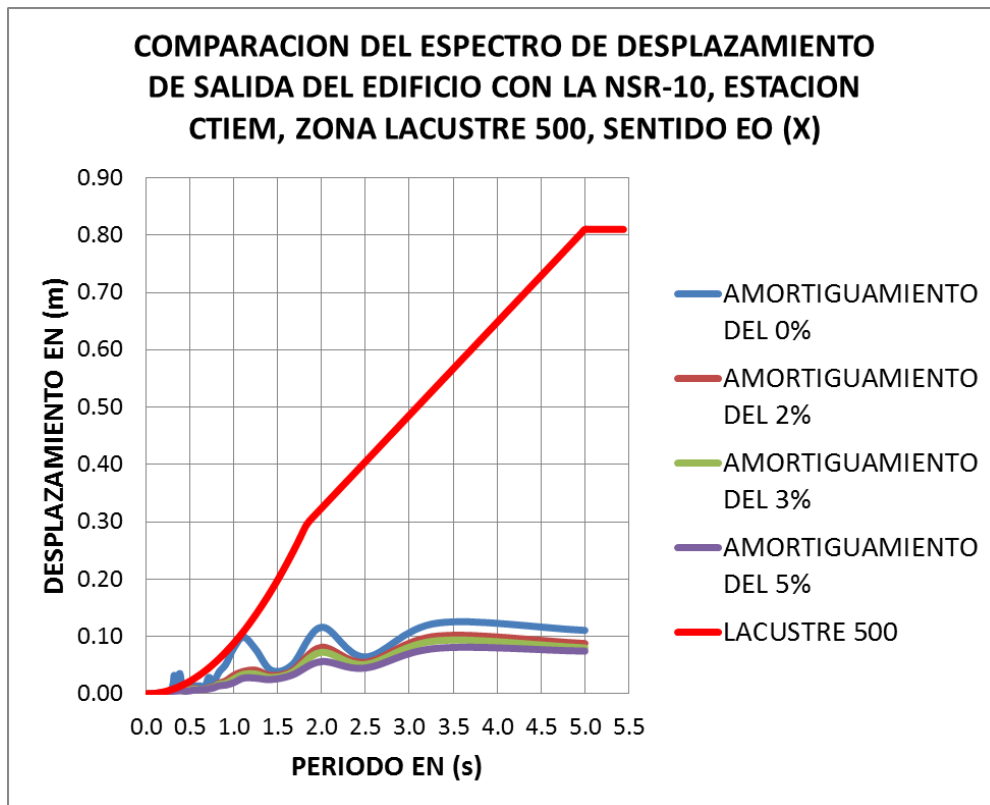


Fuente: Elaboración propia

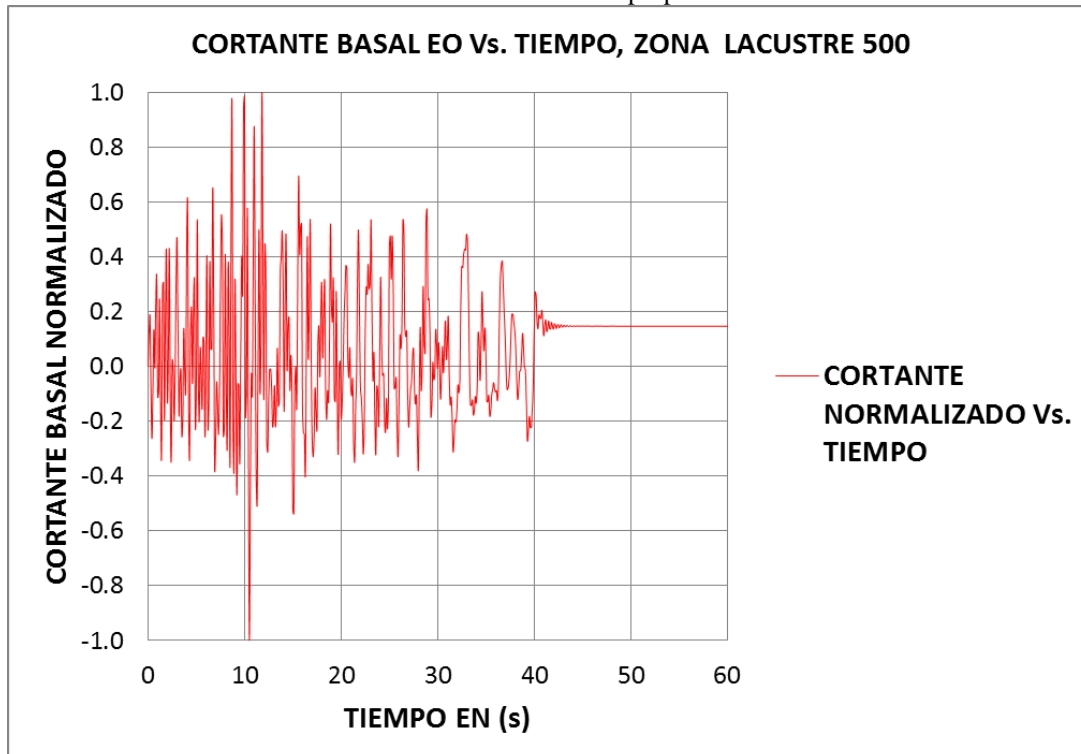


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTIEM y NSR-10, sentido EO:





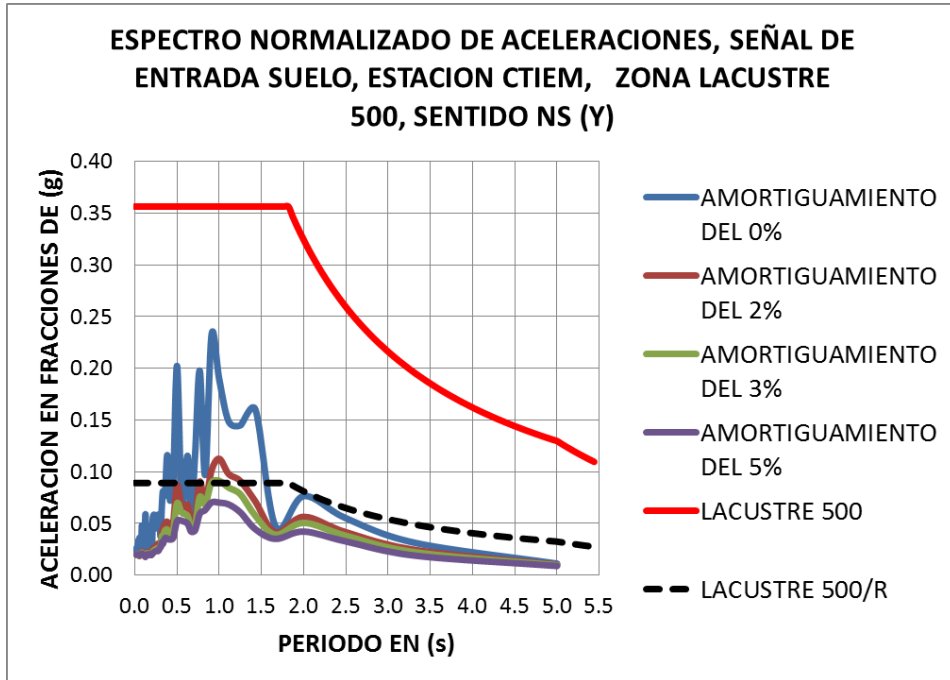
Fuente: Elaboración propia



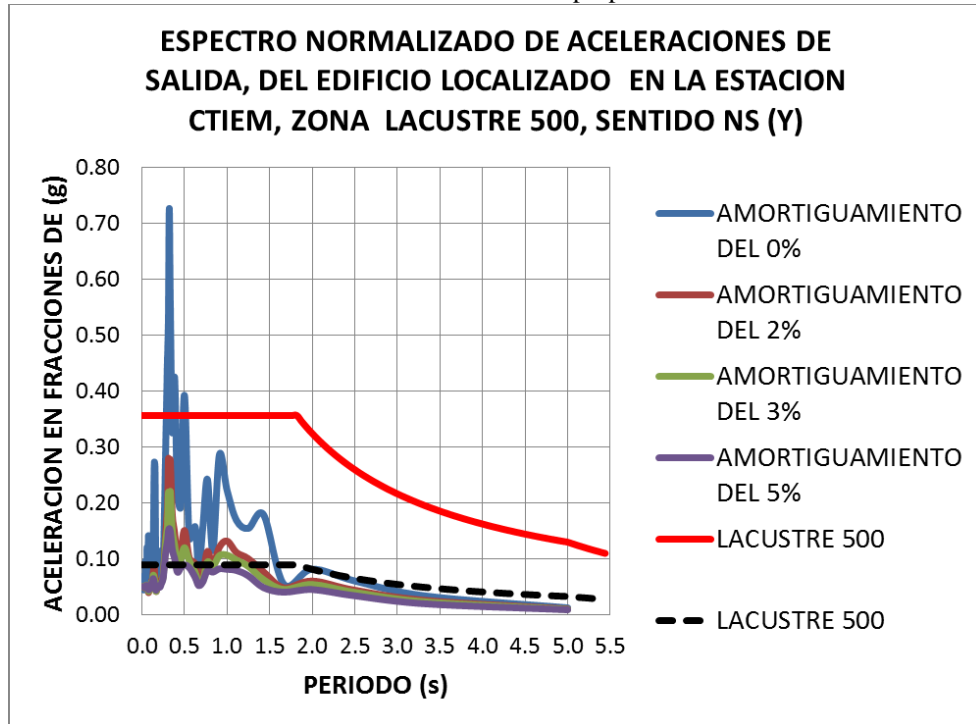
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CTIEM, ALUVIAL 200, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTIEM y NSR-10, sentido NS:

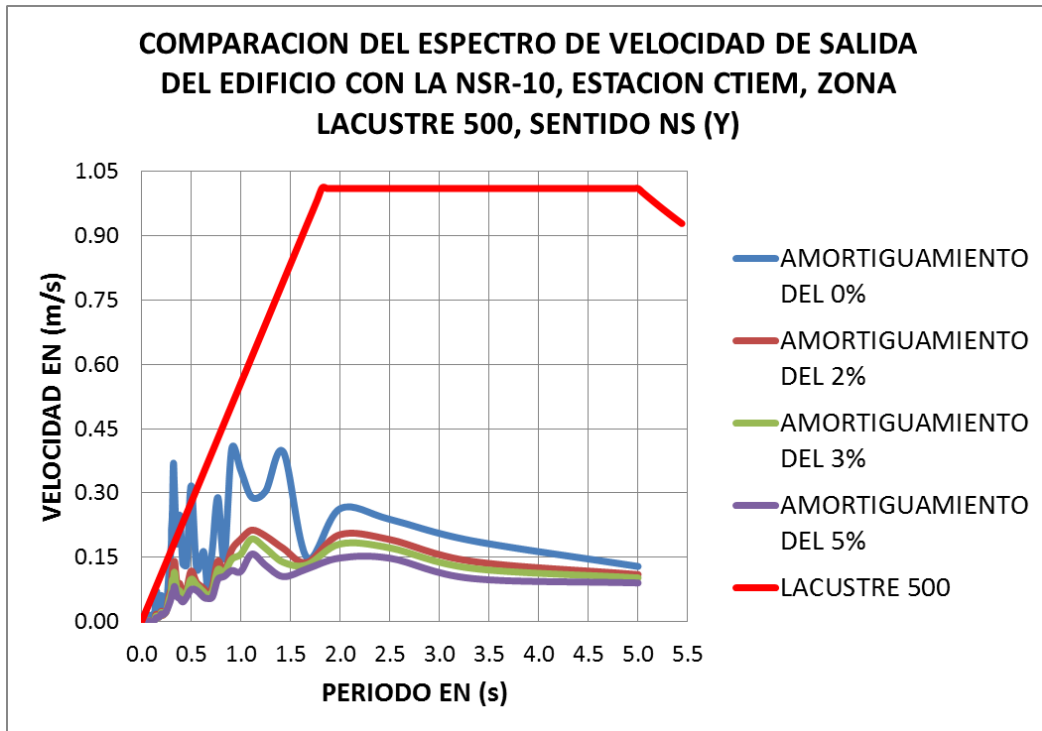
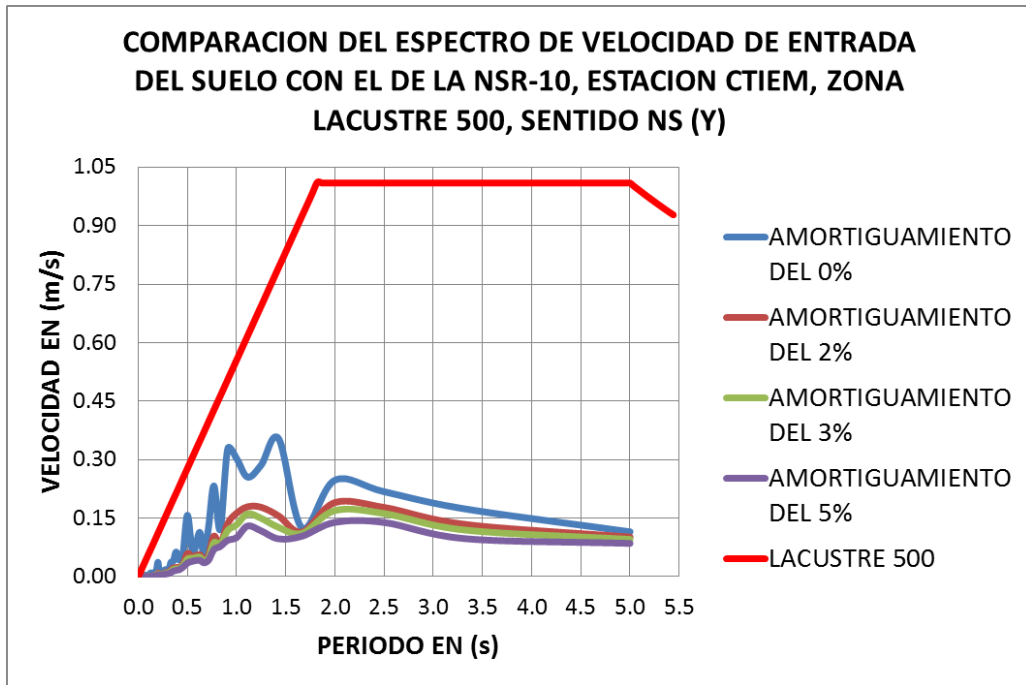


Fuente: Elaboración propia



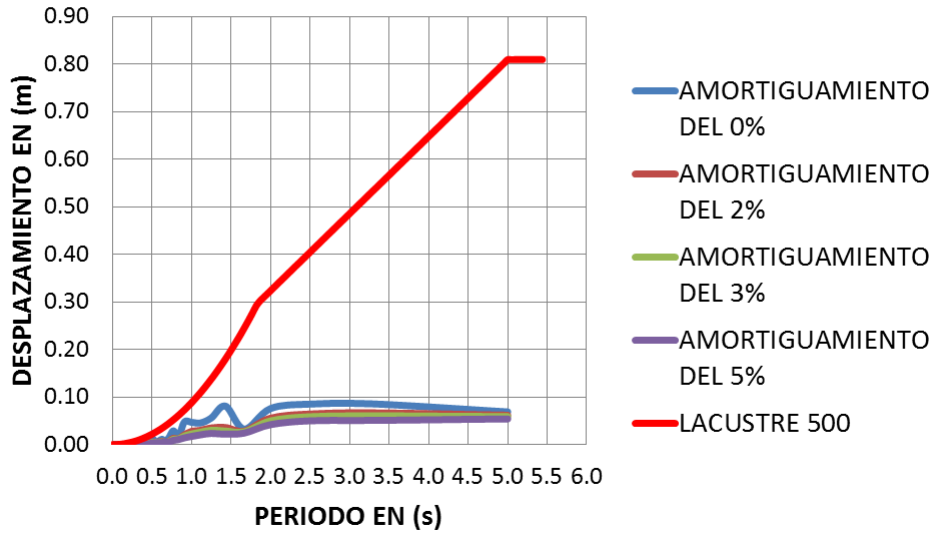
Fuente: Elaboración propia

-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTIEM y NSR-10, sentido NS:



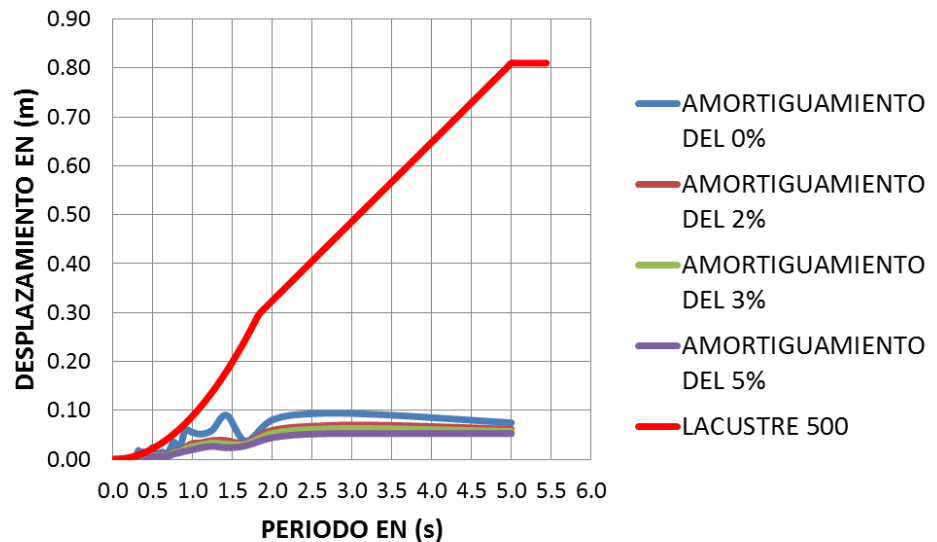
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTIEM y NSR-10, sentido NS:

COMPARACION DEL ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO DE ENTRADA DEL SUELO, CON LA NSR-10, ESTACION CTIEM, ZONA LACUSTRE 500, SENTIDO NS (Y)



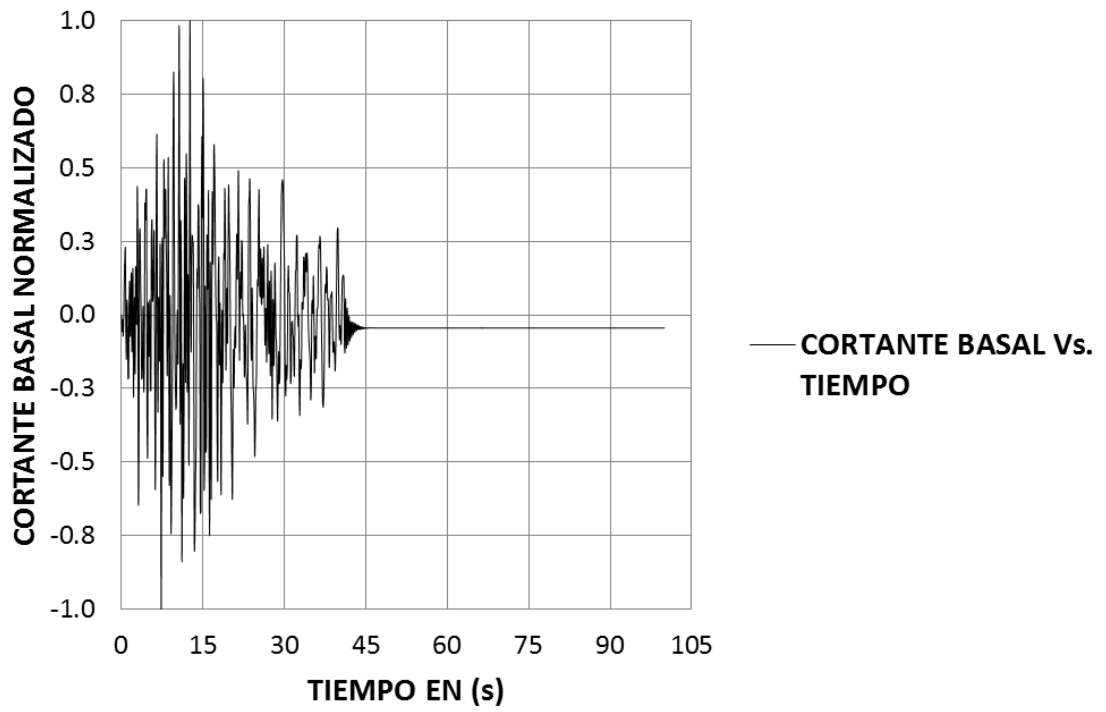
Fuente: Elaboración propia

COMPARACION DEL ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO DE SALIDA DEL EDIFICIO CON LA NSR-10, ESTACION CTIEM, ZONA LACUSTRE 500, SENTIDO NS (Y)



Fuente: Elaboración propia

CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA LACUSTRE 500

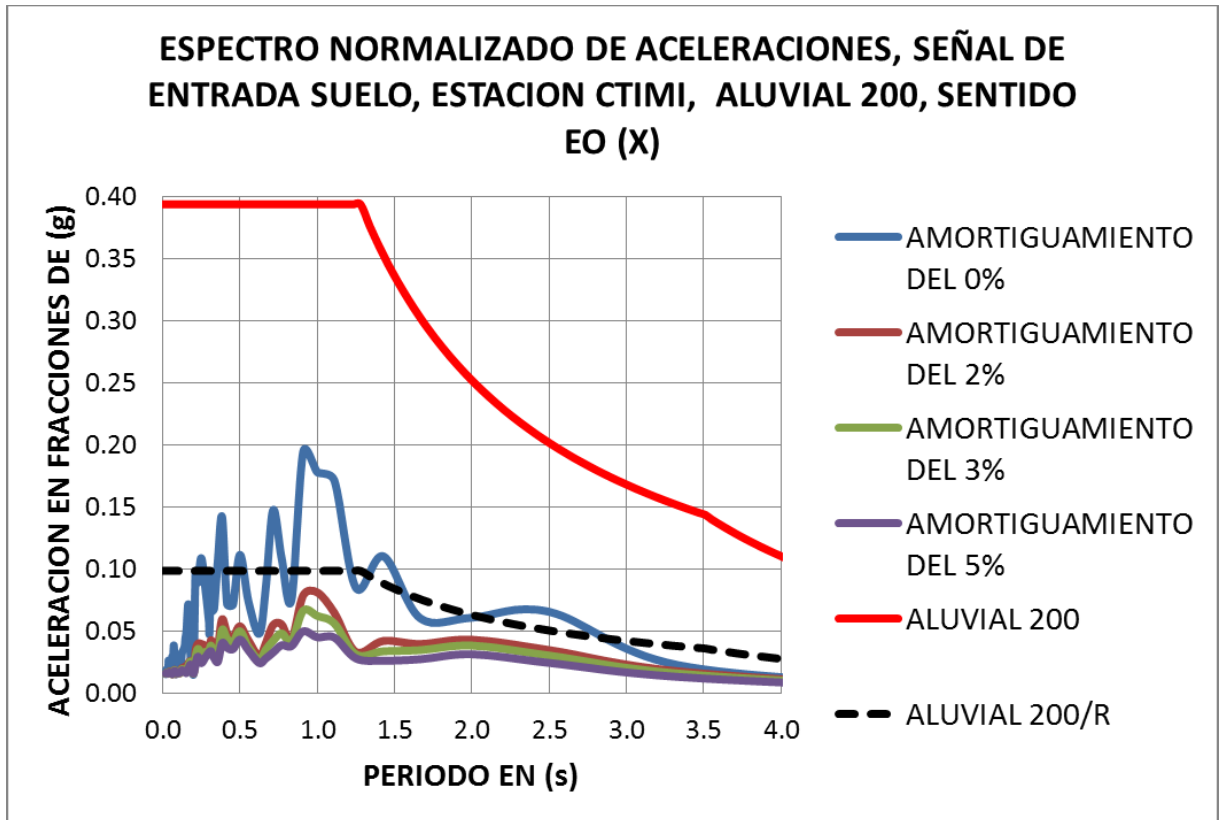


Fuente: Elaboración propia

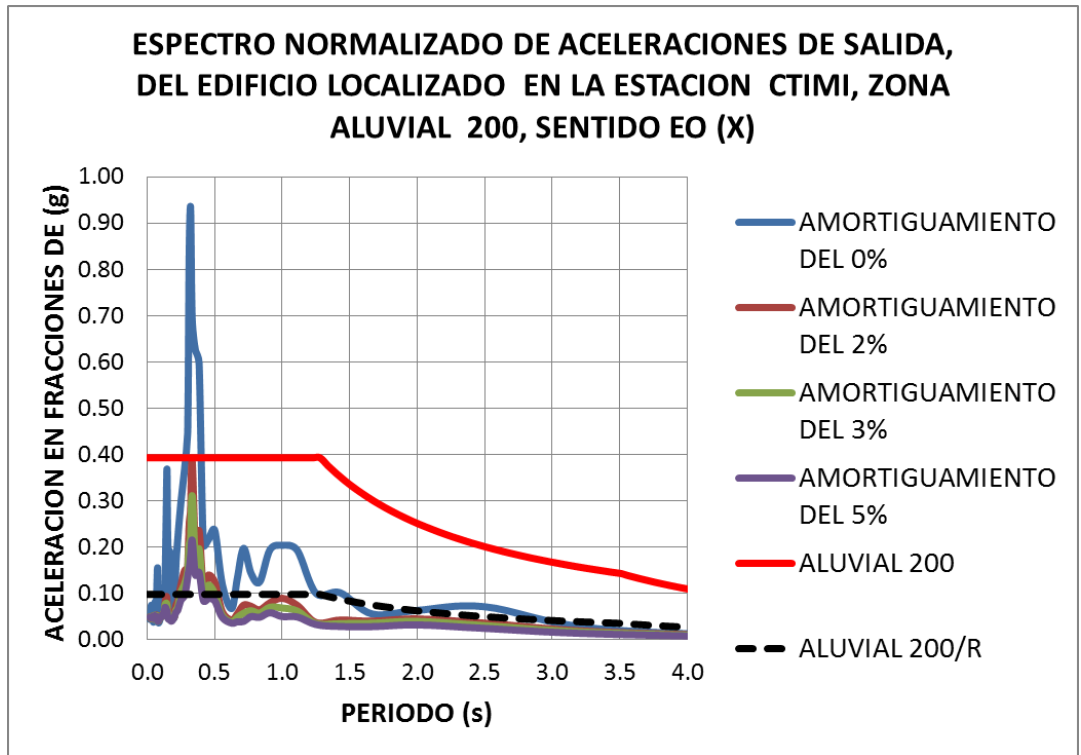
19) **Estación Parque Timiza:** El código en la RAB es CTIMI, ubicado en la Dg. 42 Sur # 62-67. La estación se localiza en la zona **ALUVIAL 200** de la MZSB. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CTIMI, ALUVIAL 200, SENTIDO EO (X):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTIMI y NSR-10, sentido EO:

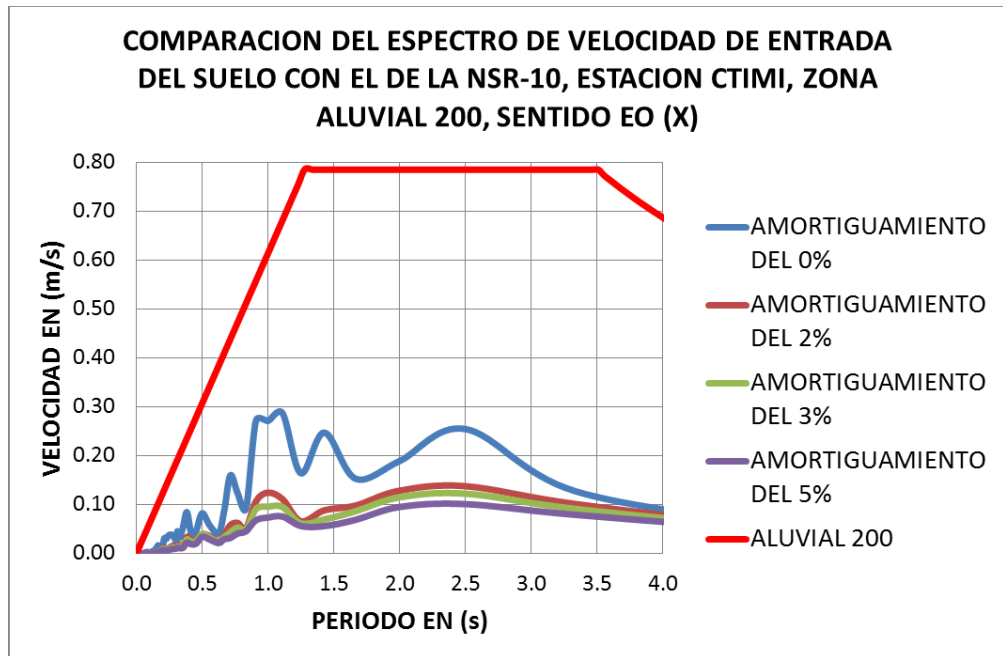


Fuente: Elaboración propia

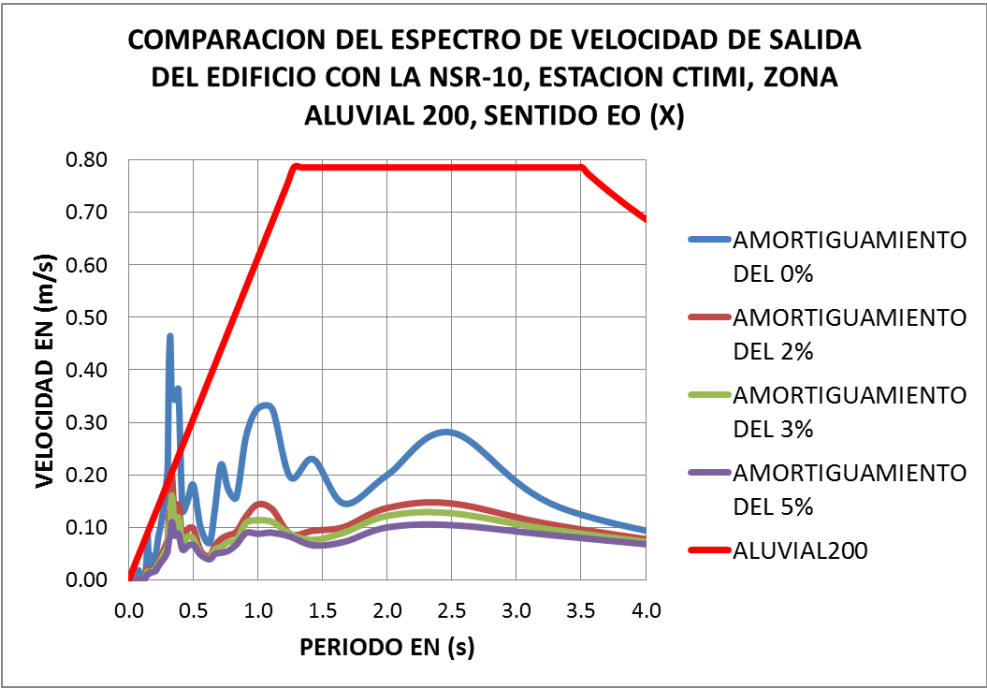


Fuente: Elaboración propia

-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTIMI y NSR-10, sentido EO:

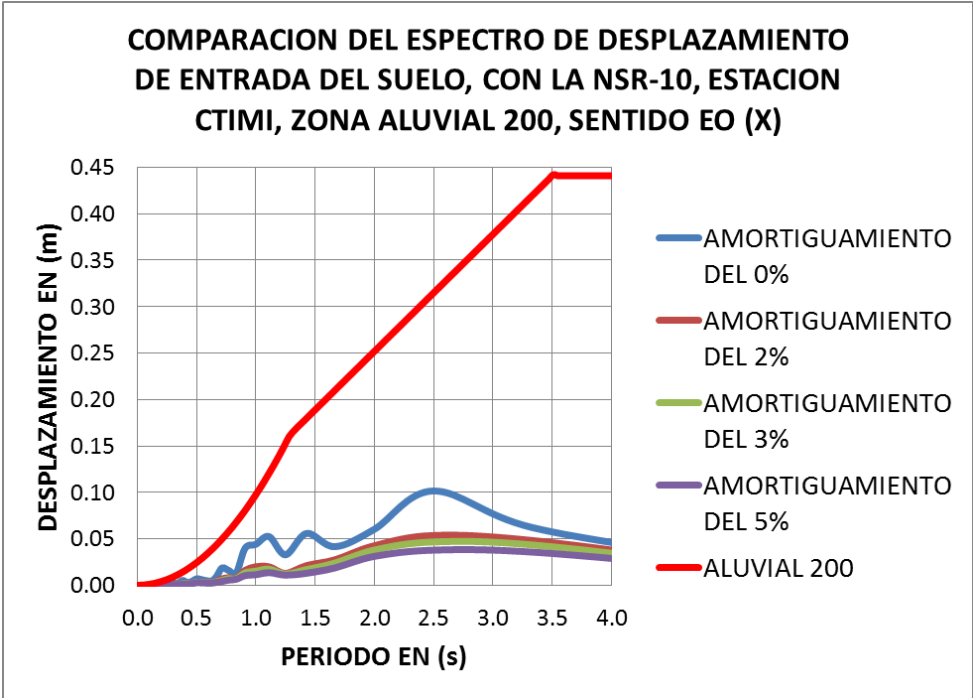


Fuente: Elaboración propia

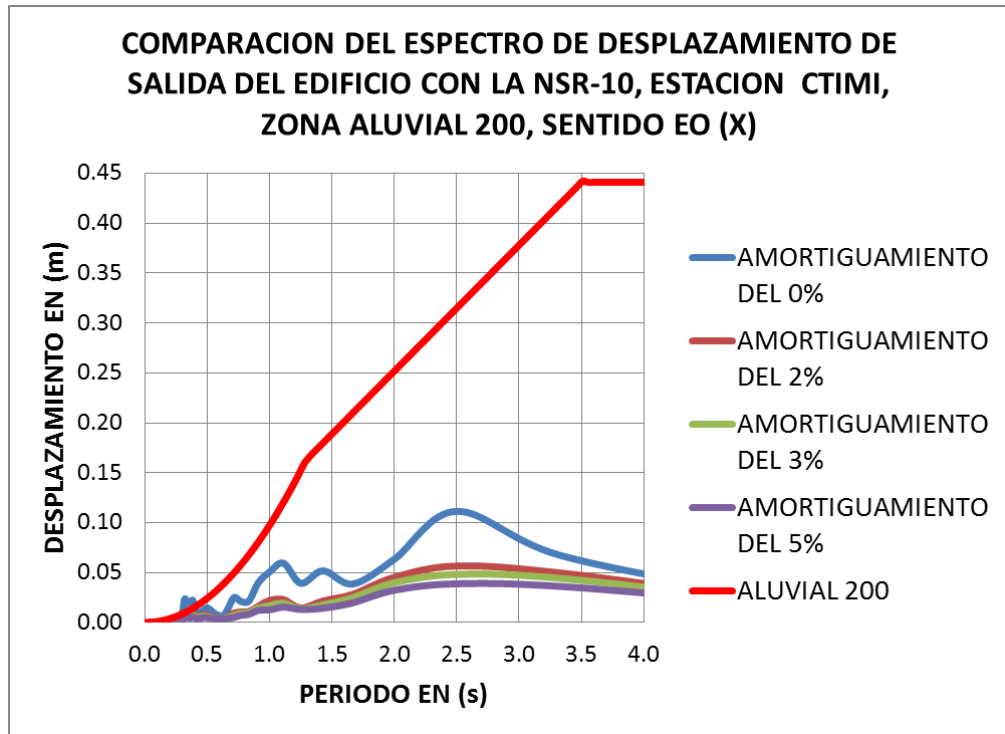


Fuente: Elaboración propia

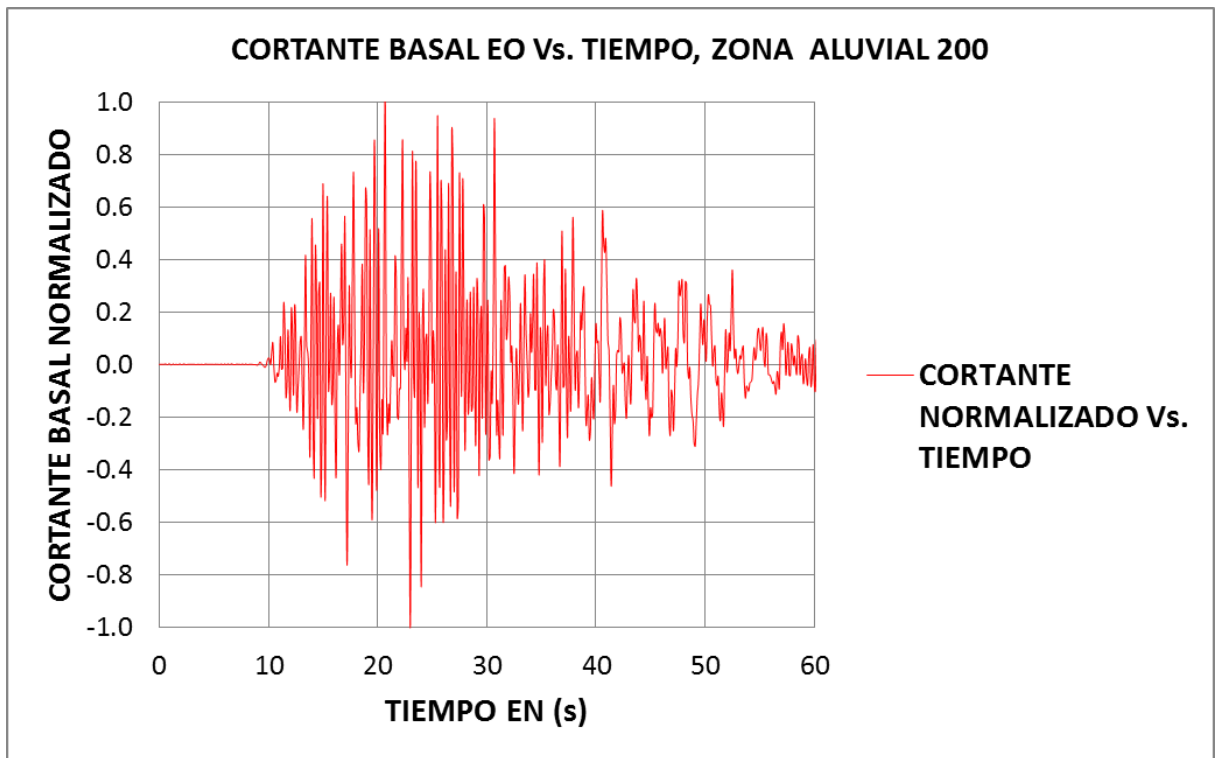
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTIMI y NSR-10, sentido EO:



Fuente: Elaboración propia



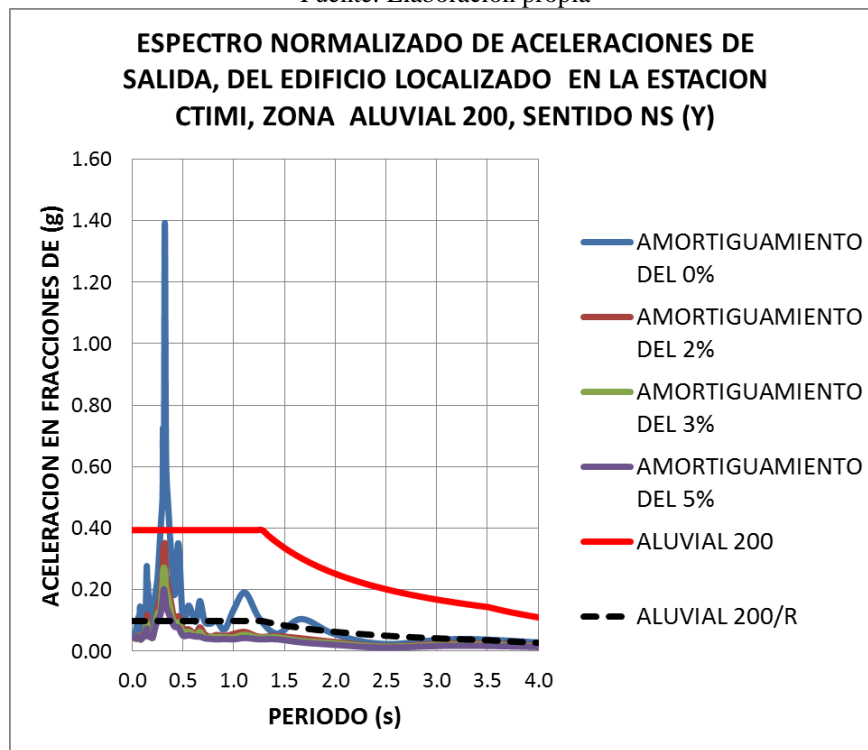
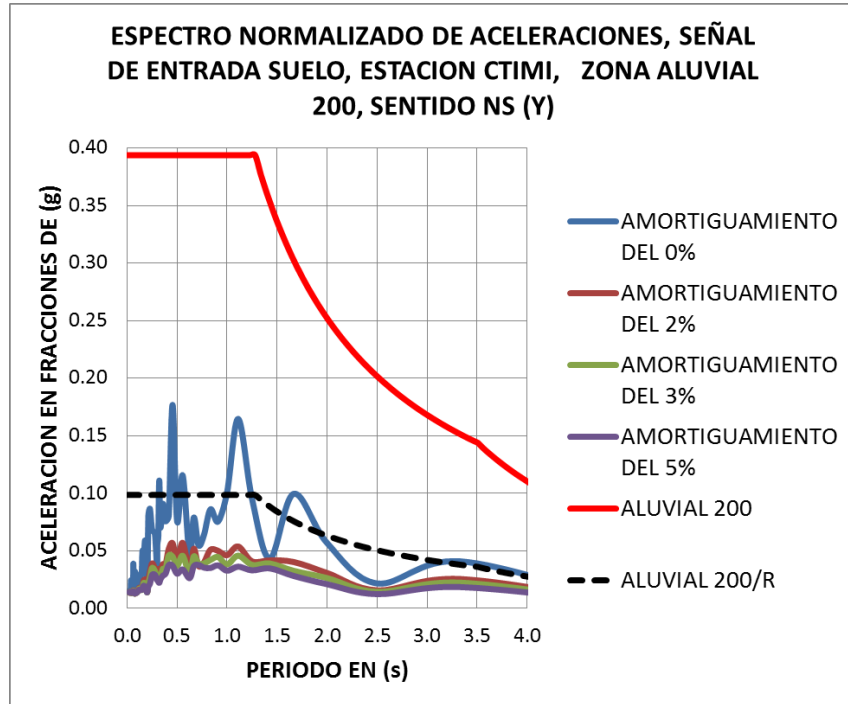
Fuente: Elaboración propia



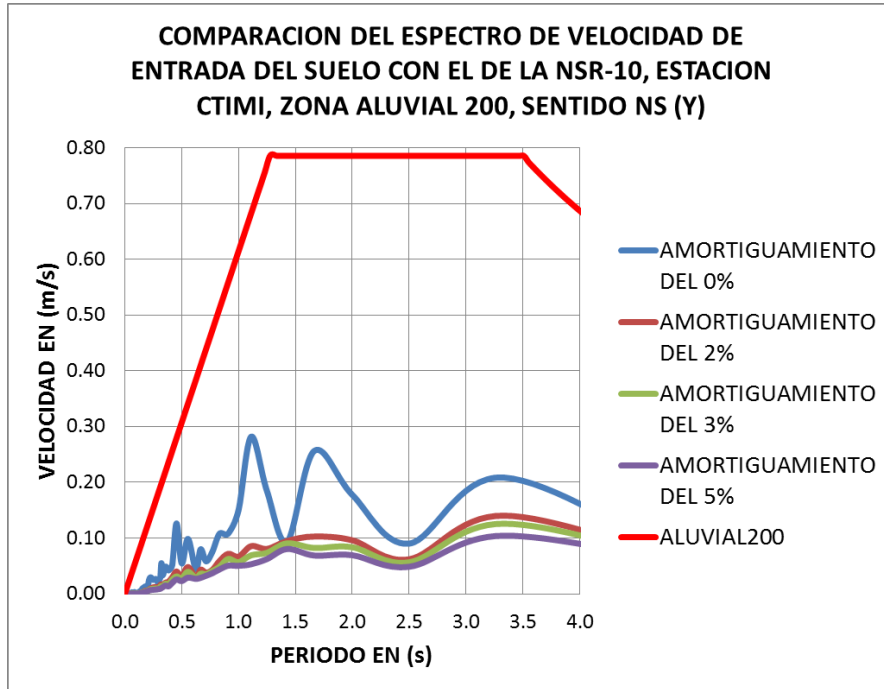
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CTIMI, ALUVIAL 200, SENTIDO NS (Y):

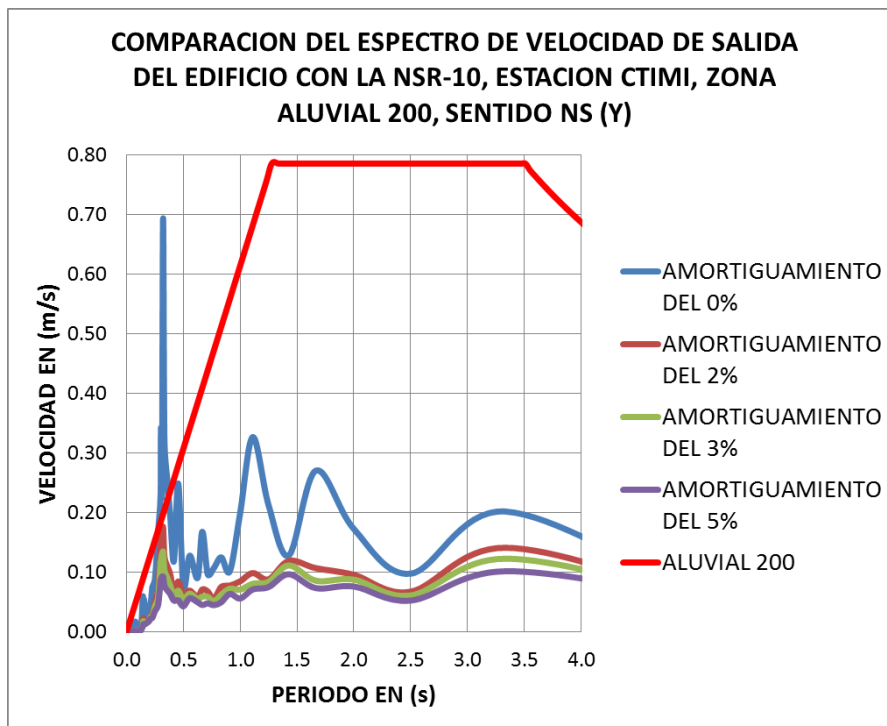
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTIMI y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTIMI y NSR-10, sentido NS:

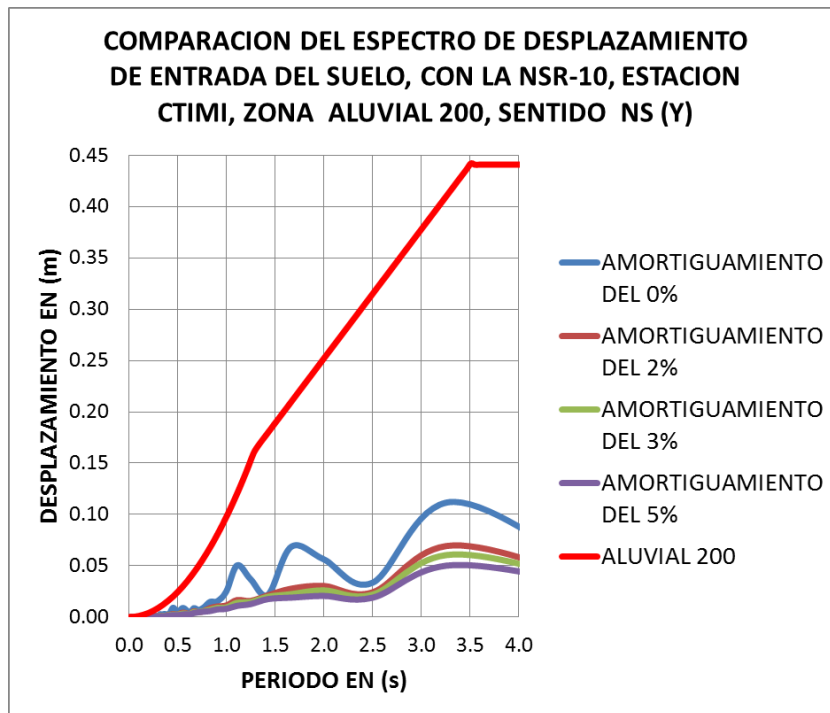


Fuente: Elaboración propia

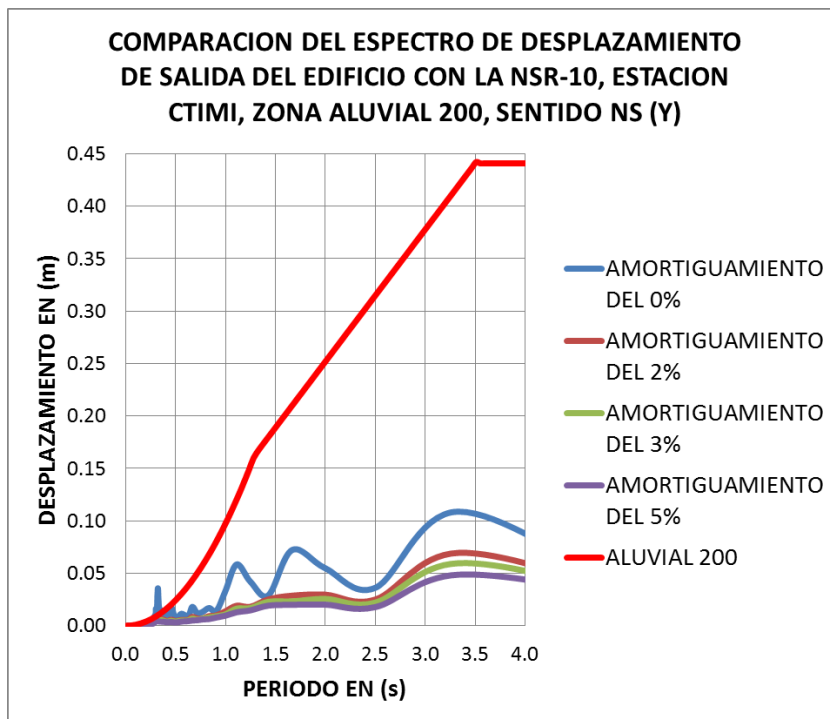


Fuente: Elaboración propia

-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTIMI y NSR-10, sentido NS:

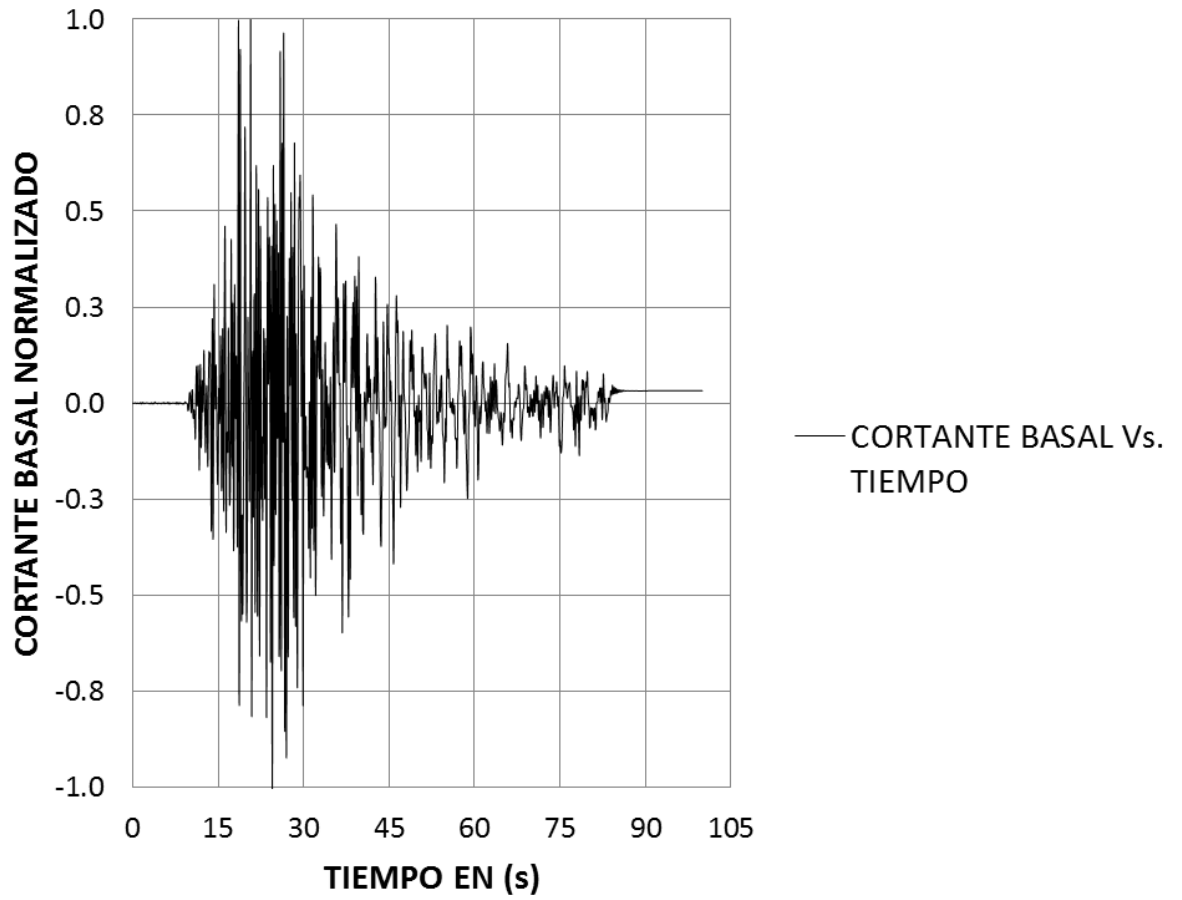


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA ALUVIAL 200

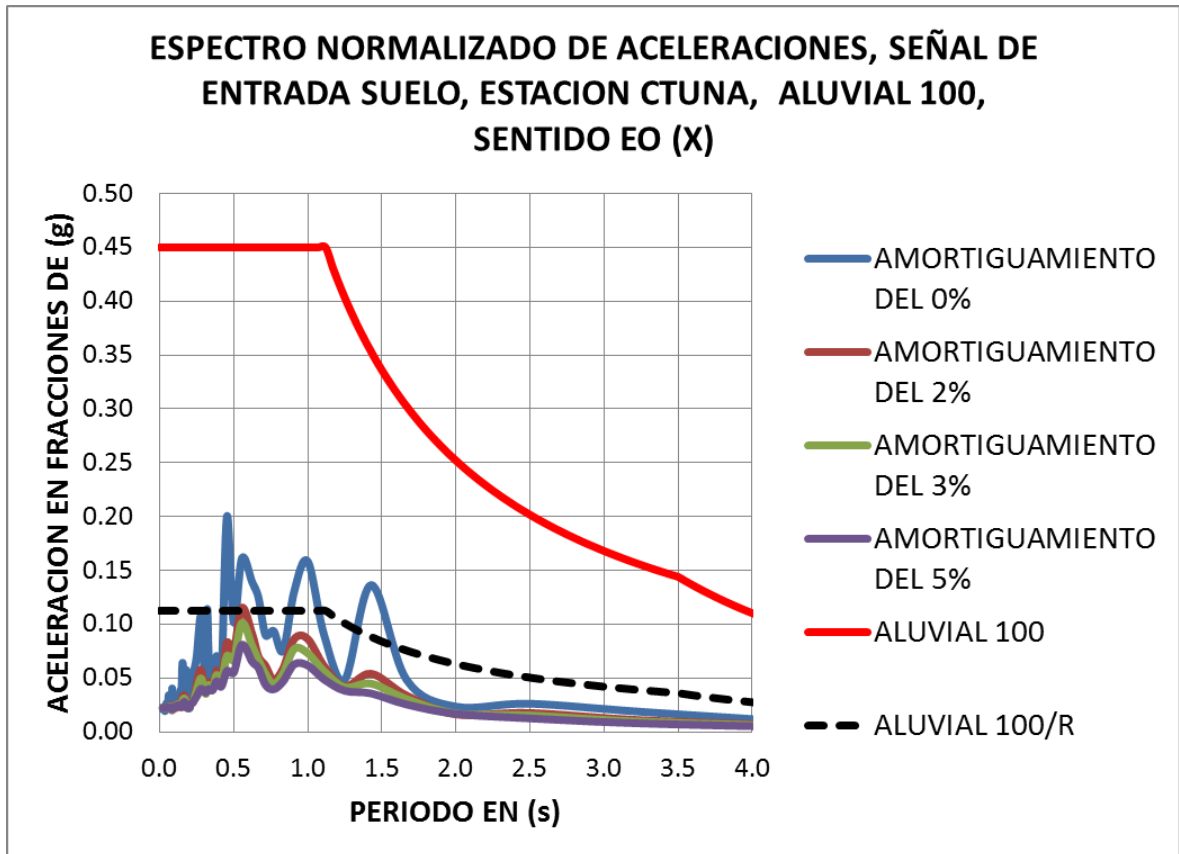


Fuente: Elaboración propia

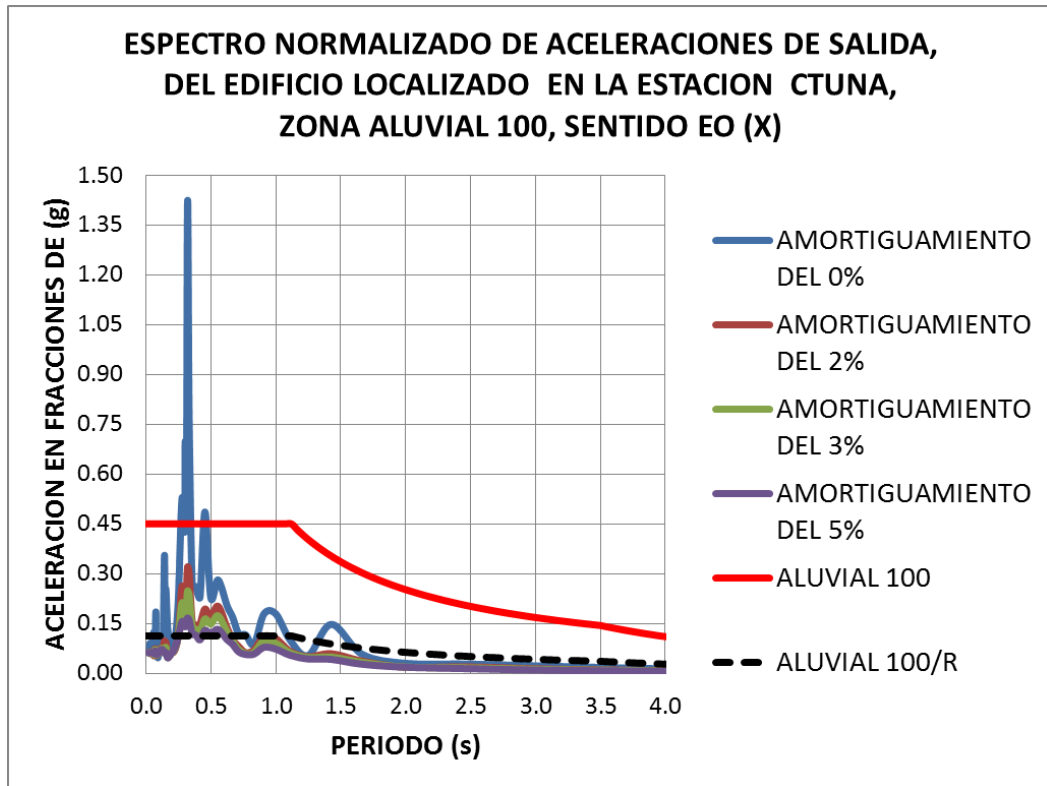
20) **Estación Parque El Tunal:** El código en la RAB es CTUNA, ubicado en la Calle 48 con Av. El Tunal. La estación se localiza en la zona **ALUVIAL 100** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CTUNA, ALUVIAL 100, SENTIDO EO (X):

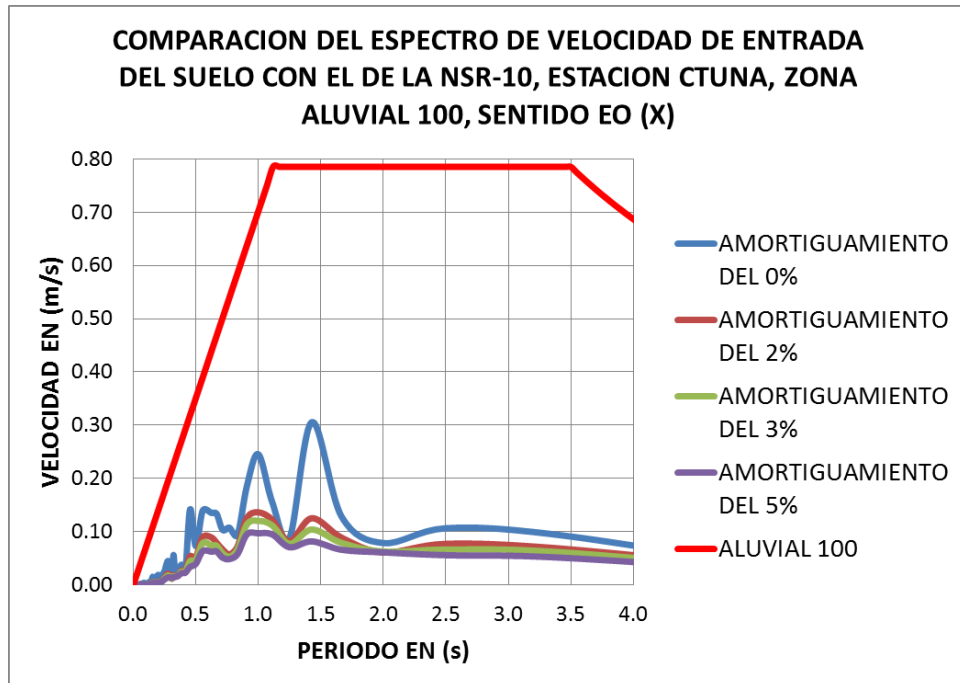
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTUNA y NSR-10, sentido EO:

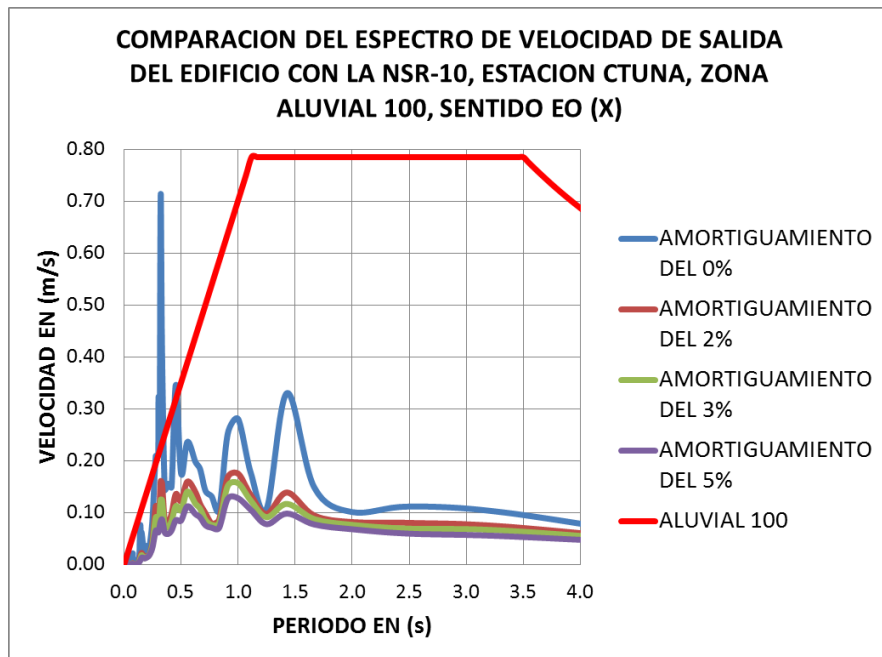


Fuente: Elaboración propia

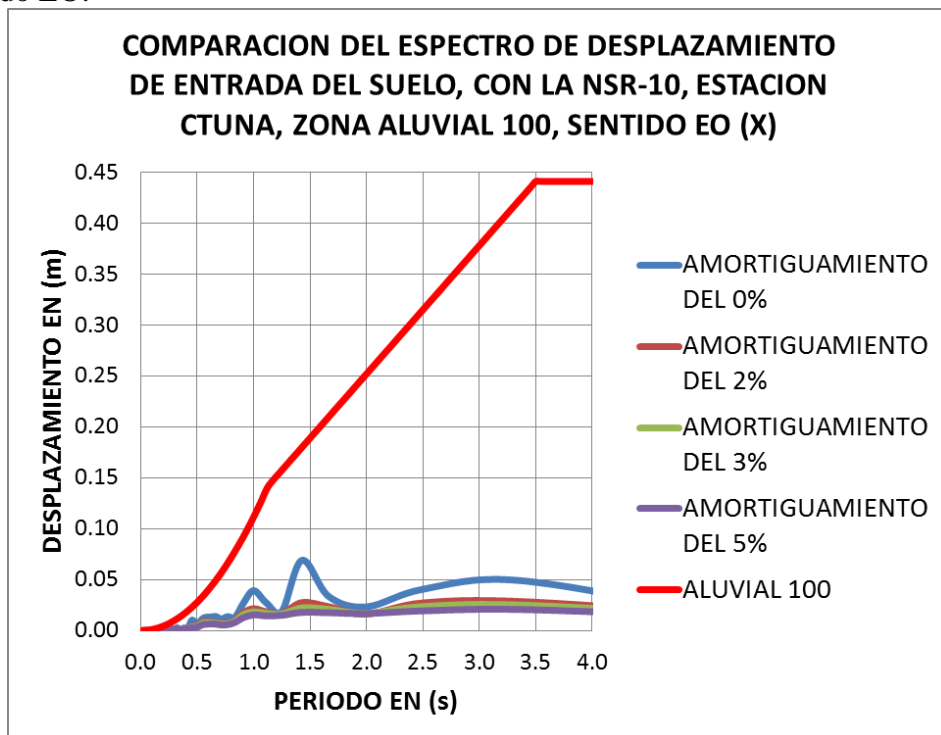


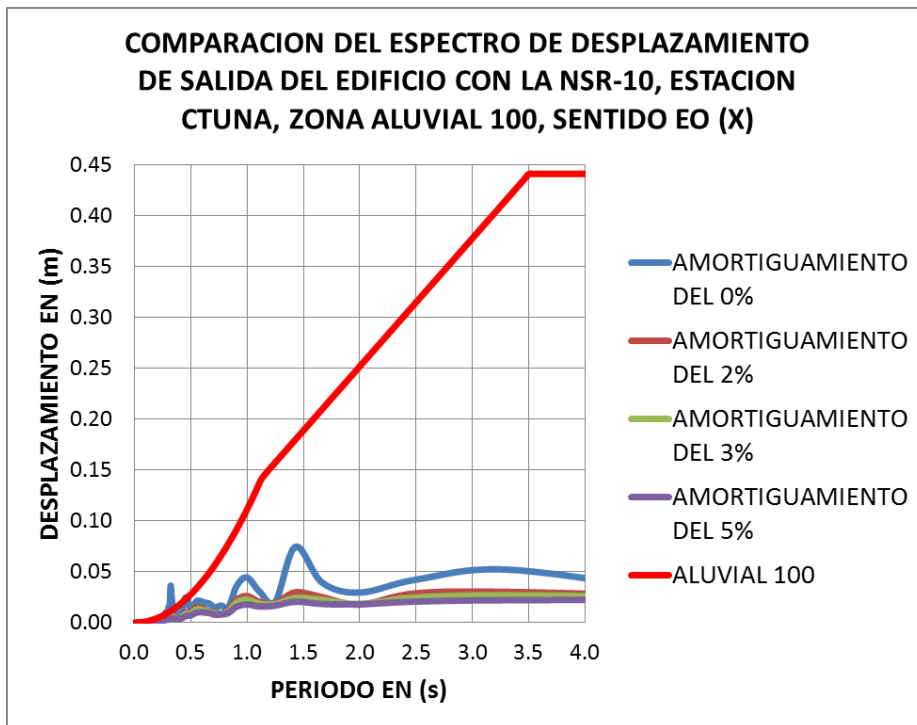
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTUNA y NSR-10, sentido EO:



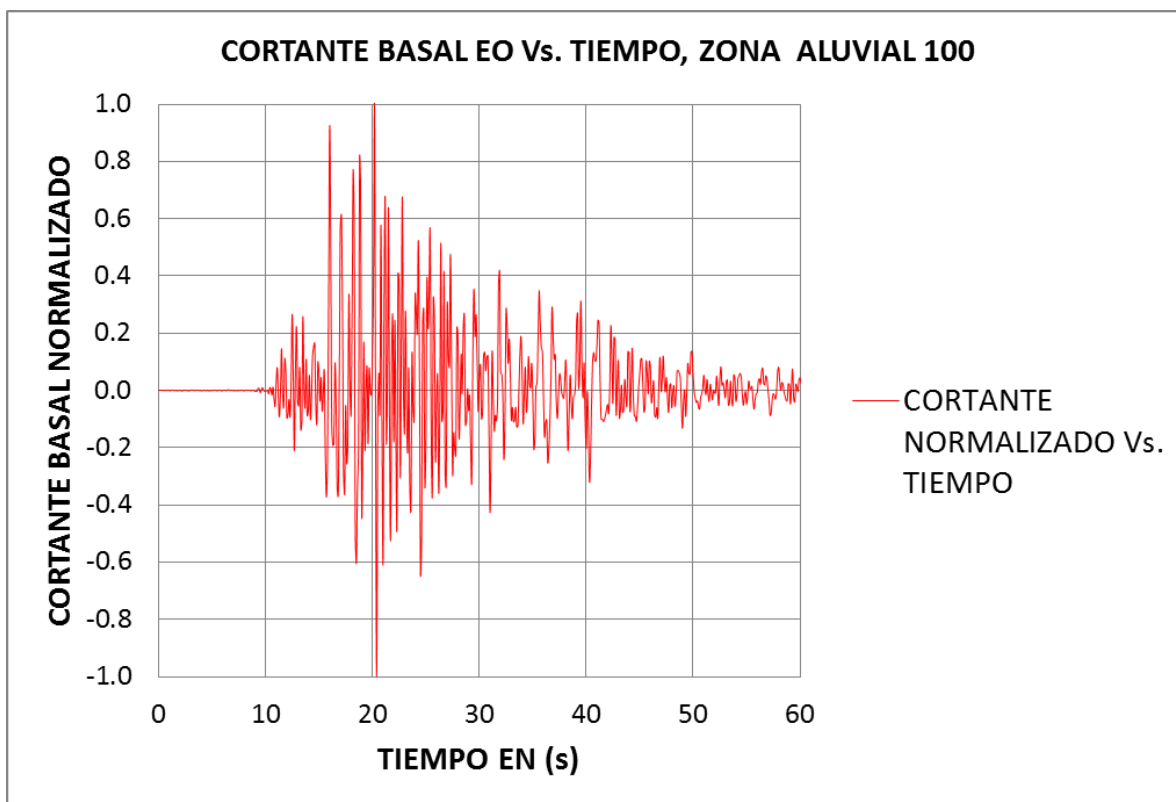


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTUNA y NSR-10, sentido EO:





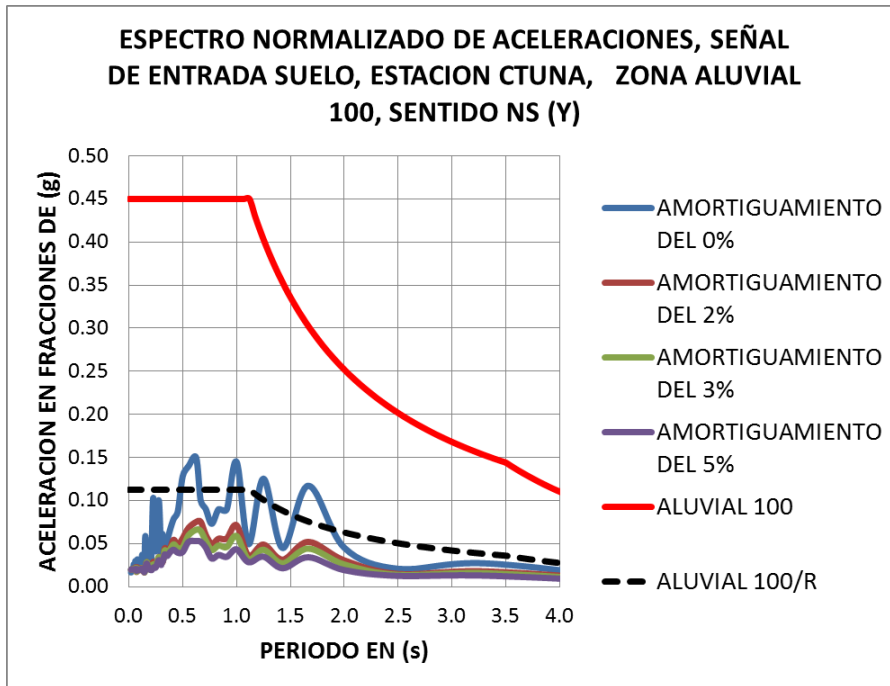
Fuente: Elaboración propia



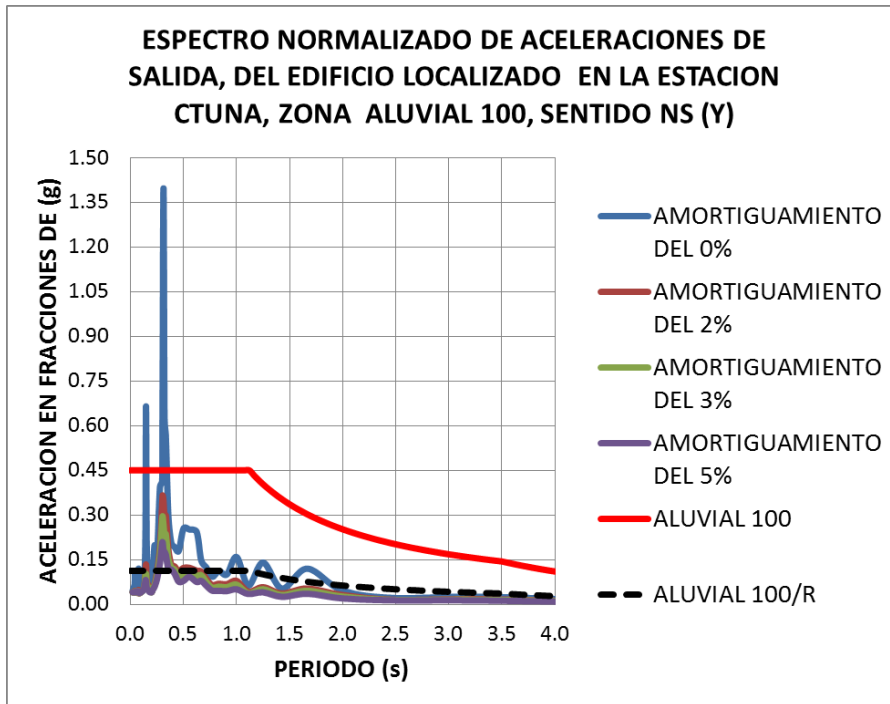
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CTUNA, ALUVIAL 100, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTUNA y NSR-10, sentido NS:

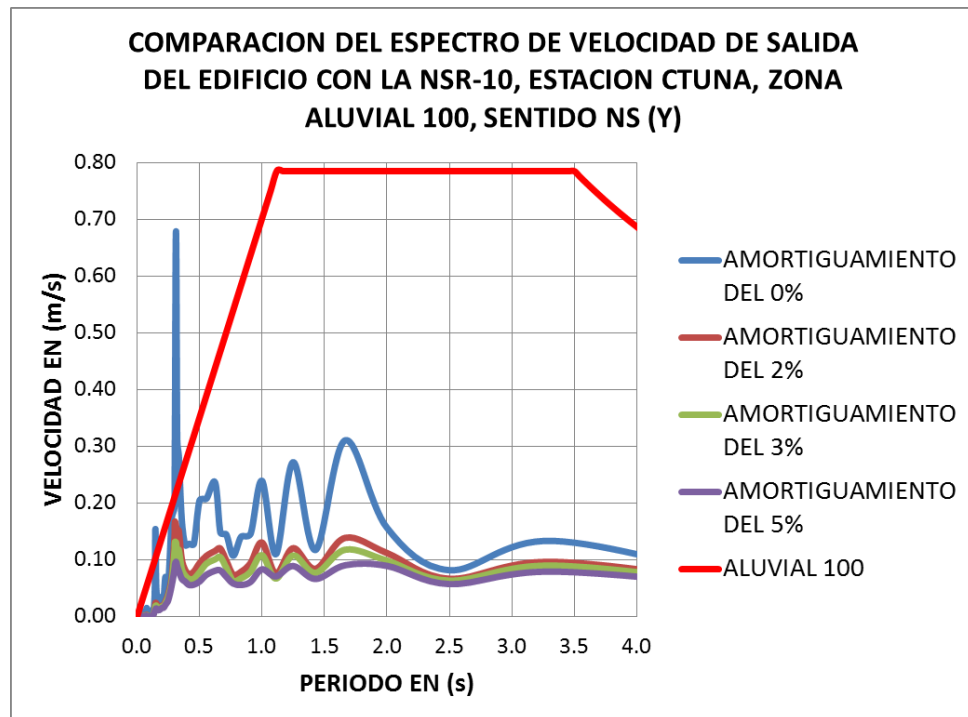
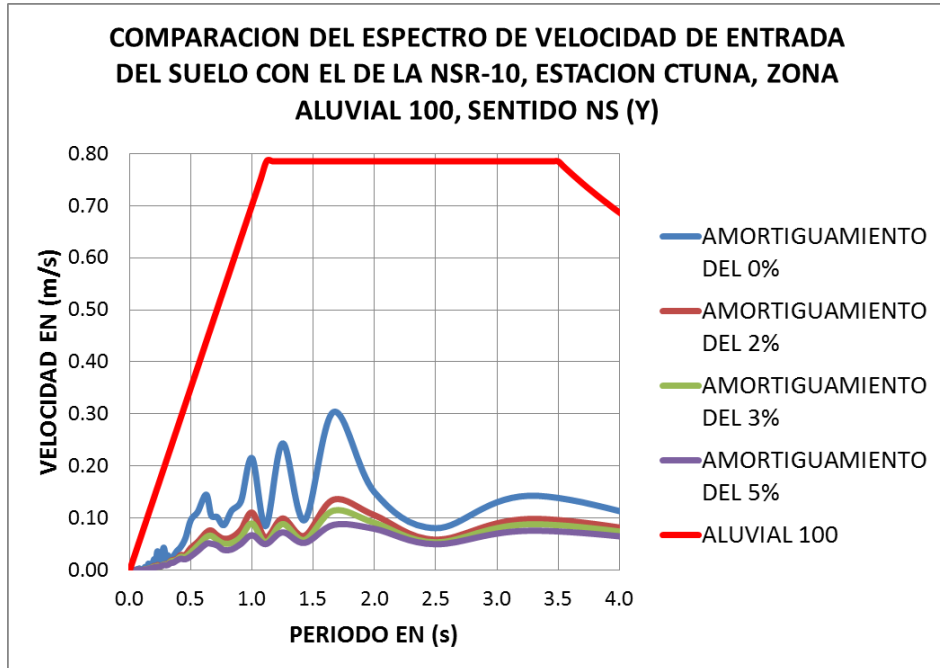


Fuente: Elaboración propia

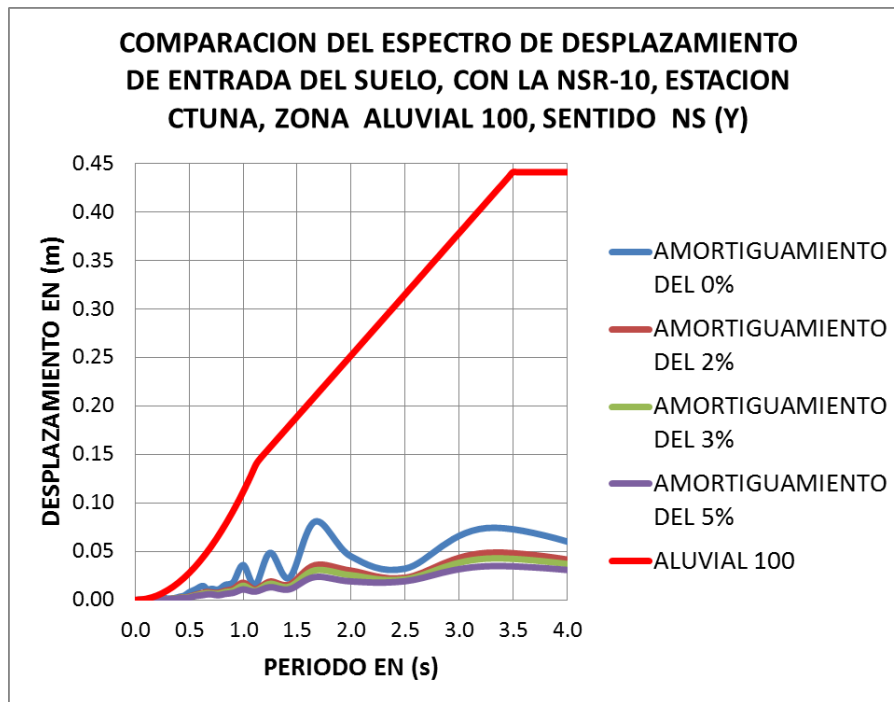


Fuente: Elaboración propia

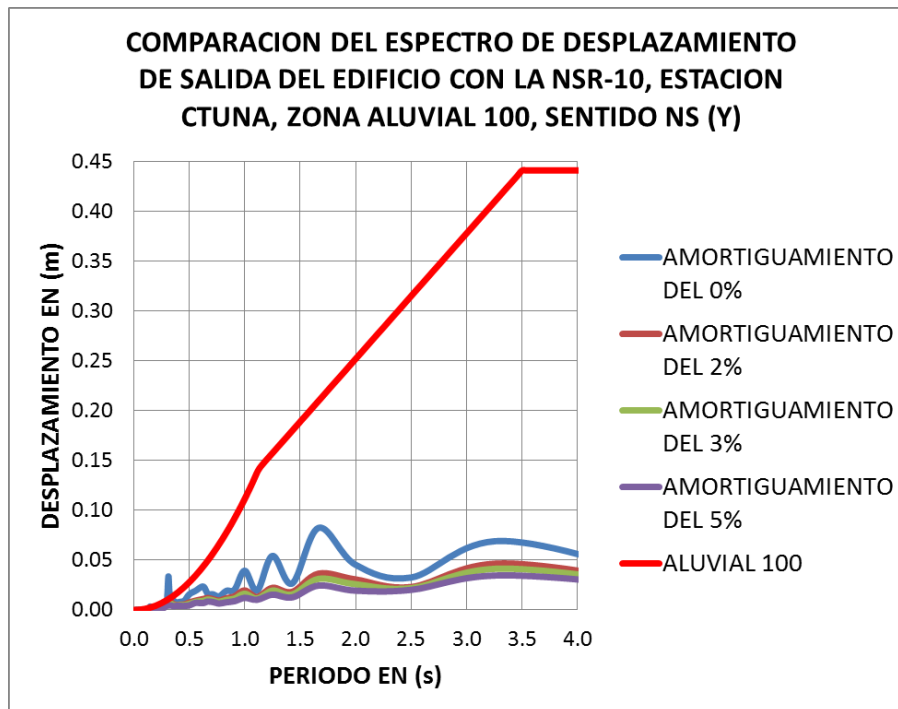
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTUNA y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTUNA y NSR-10, sentido NS:

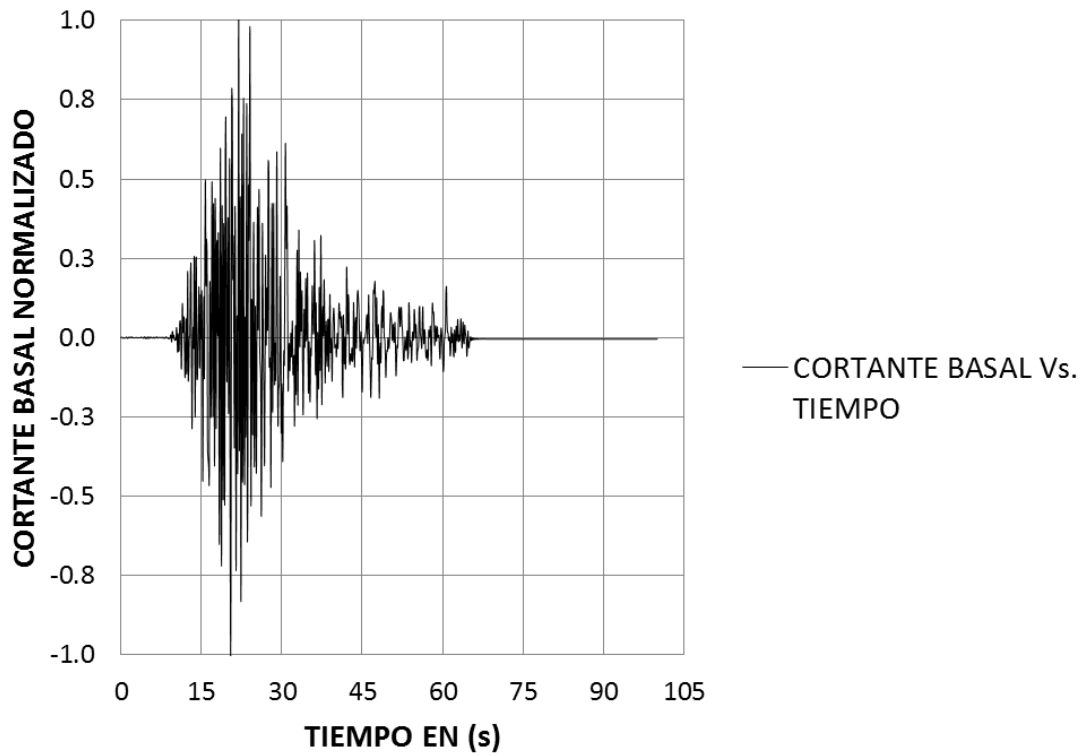


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA ALUVIAL 100

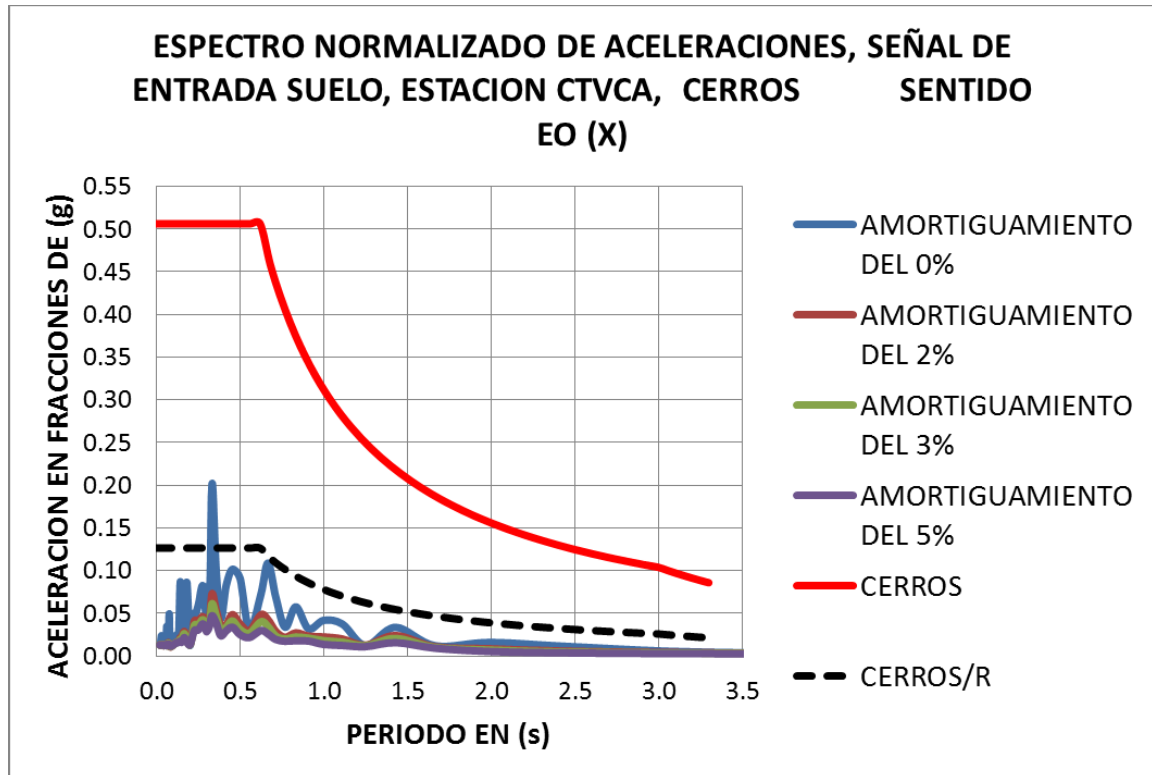


Fuente: Elaboración propia

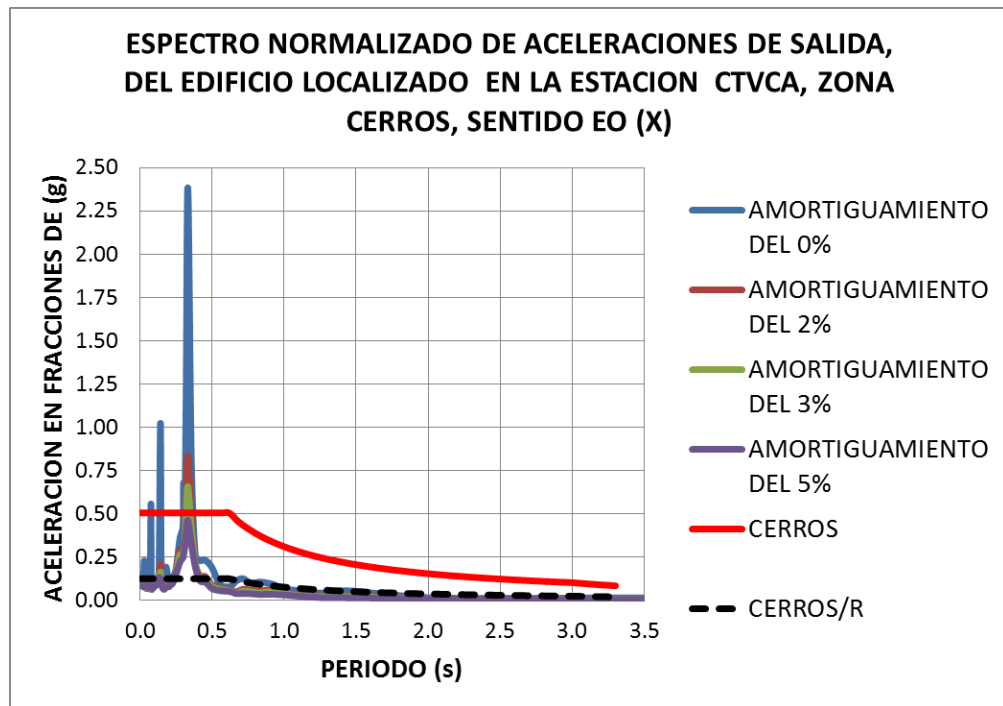
- 21) **Estación T.V Cable:** El código en la RAB es CTVCA, ubicado en la Dg. 120 # 86-75. La estación se localiza en la zona **CERROS** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CTVCA, CERROS, SENTIDO EO (X):

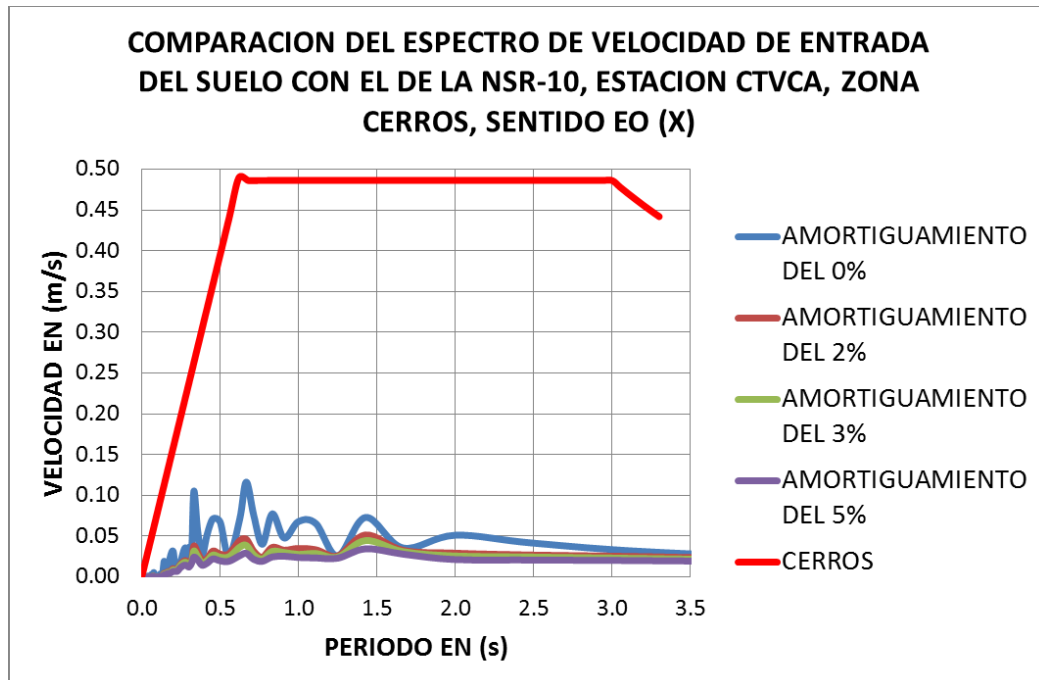
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTVCA y NSR-10, sentido EO:

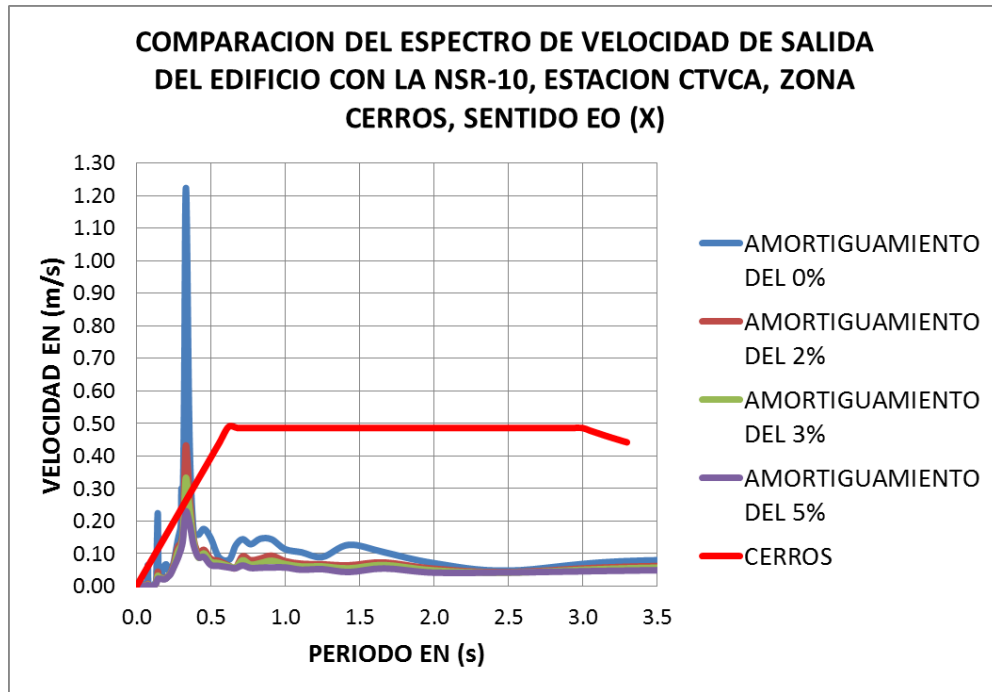


Fuente: Elaboración propia

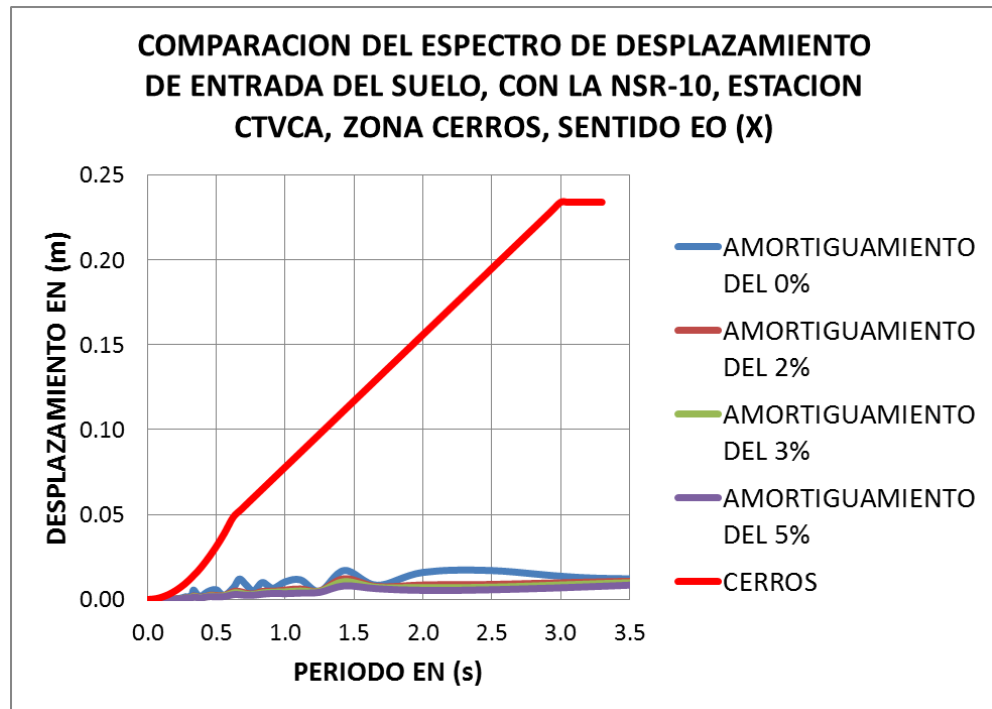


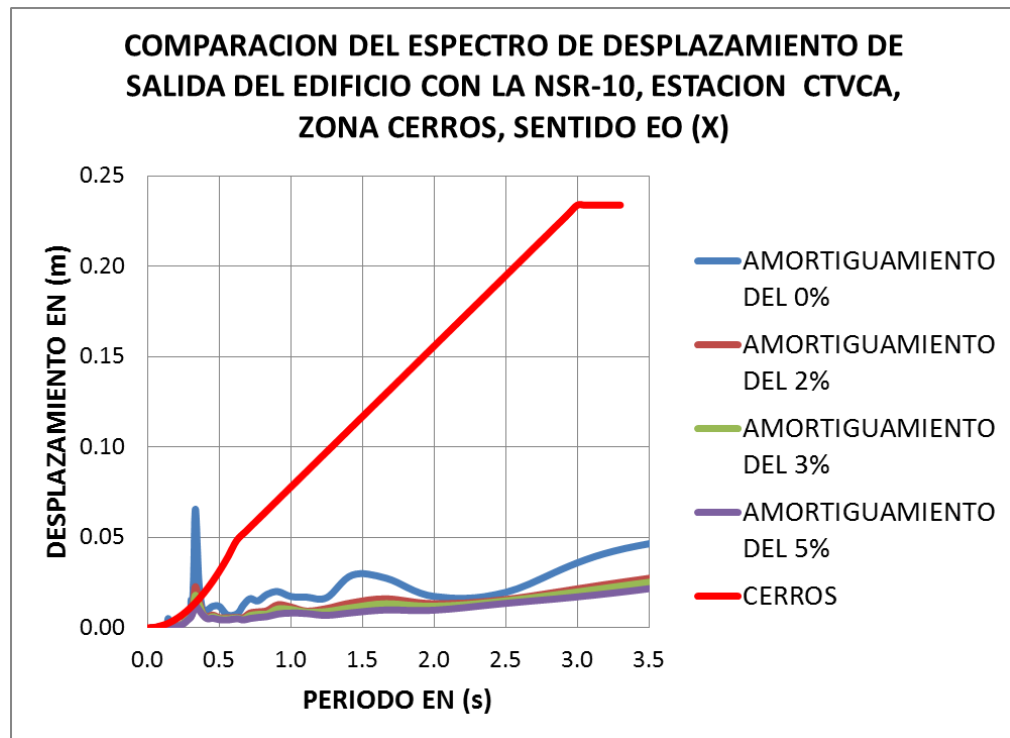
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTVCA y NSR-10, sentido EO:



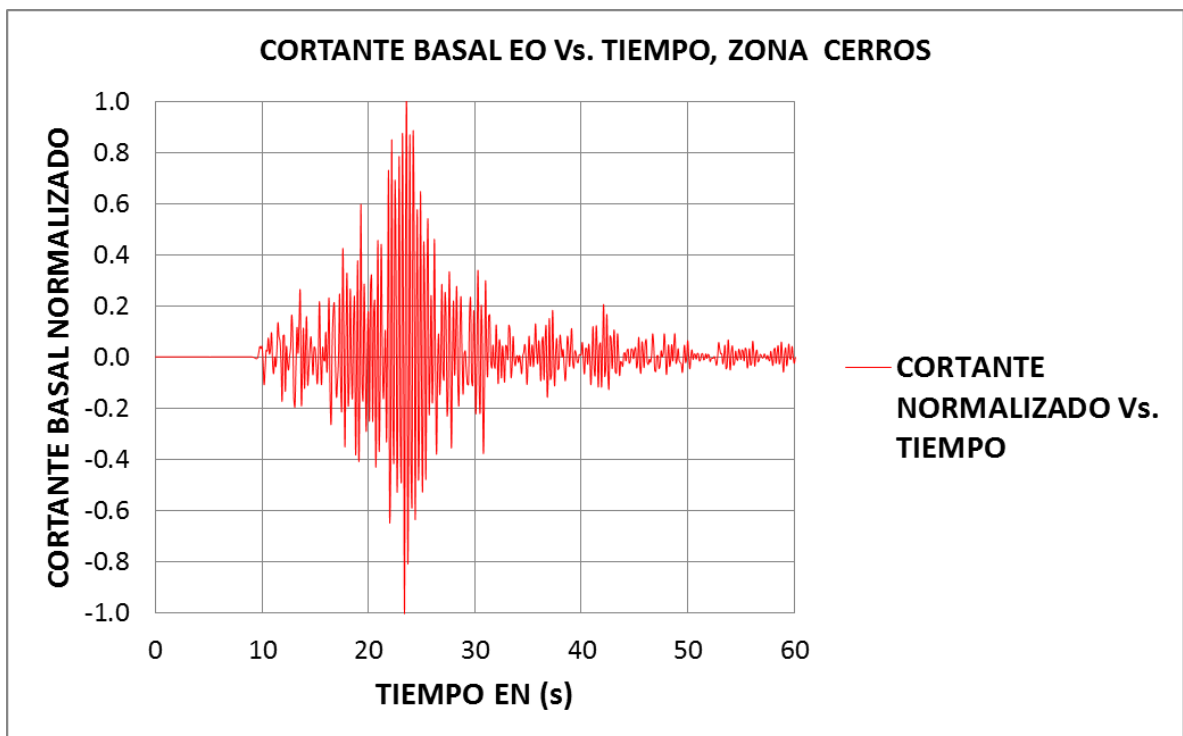


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTVCA y NSR-10, sentido EO:





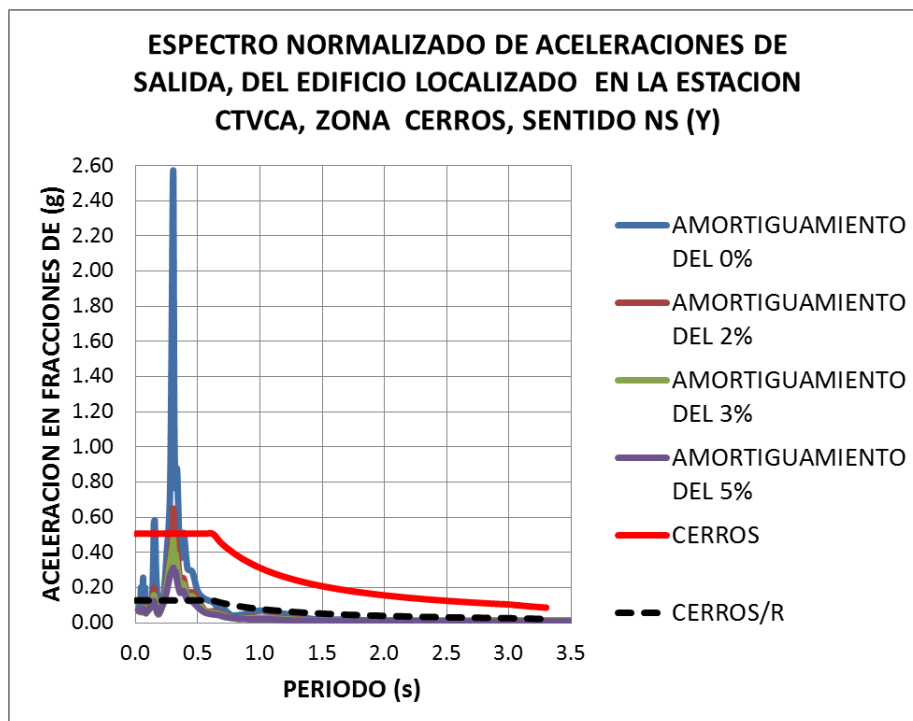
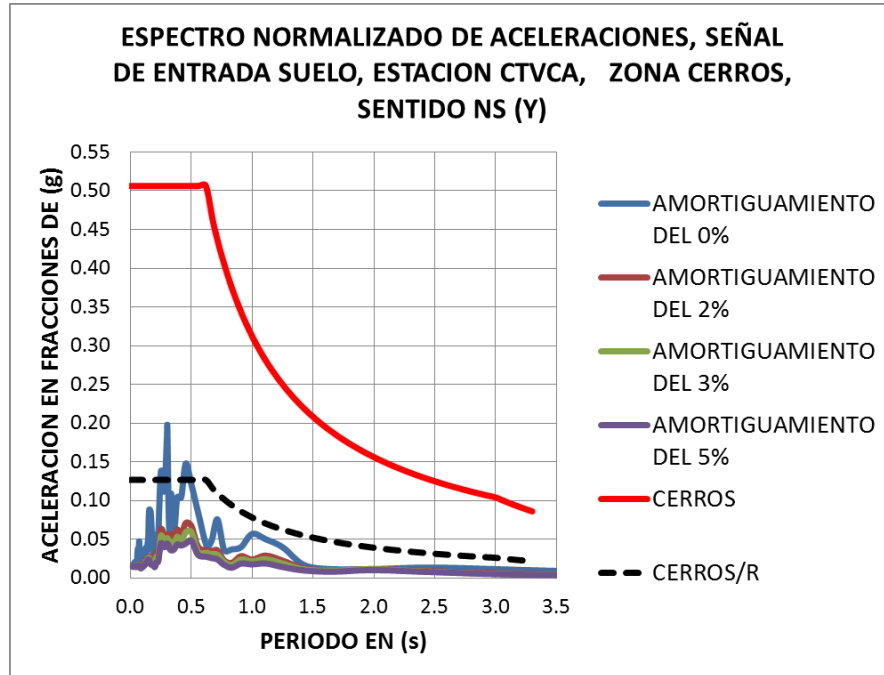
Fuente: Elaboración propia



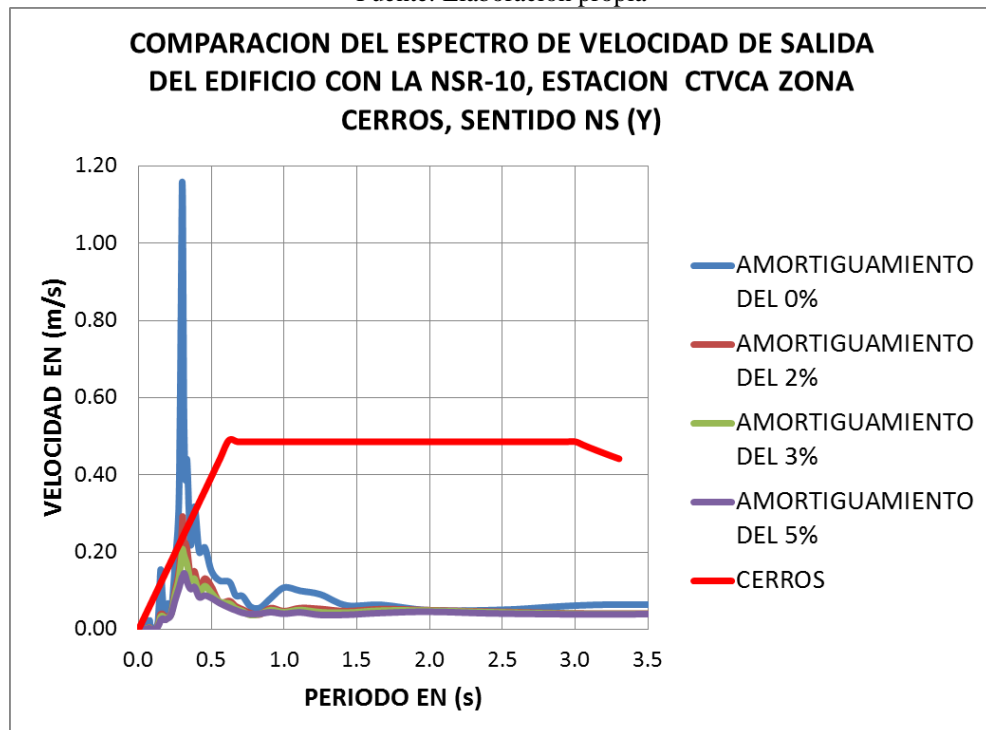
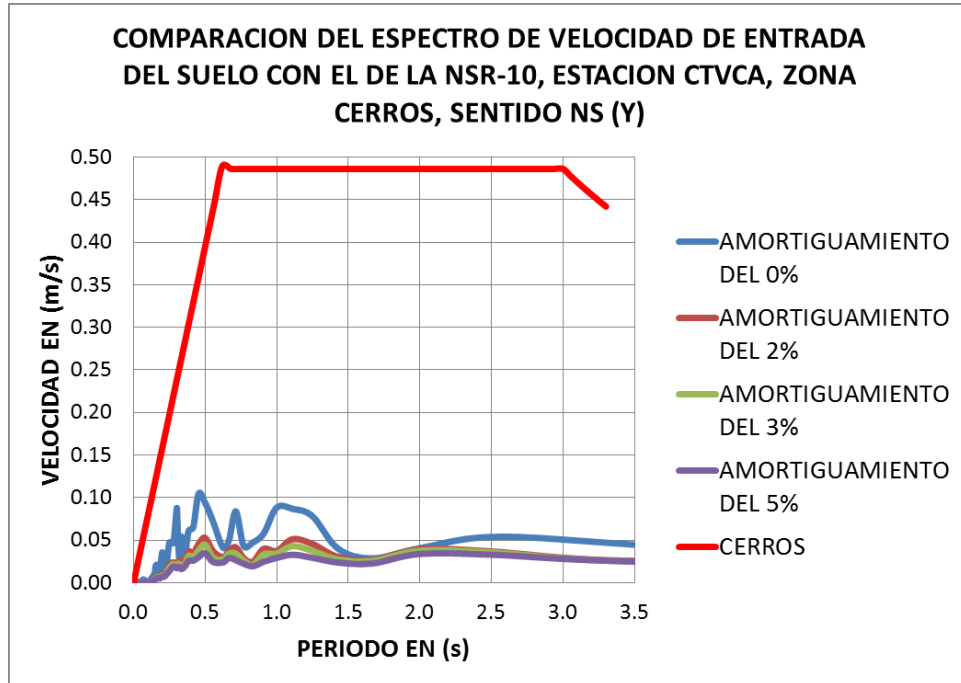
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CTVCA, CERROS, SENTIDO NS (Y):

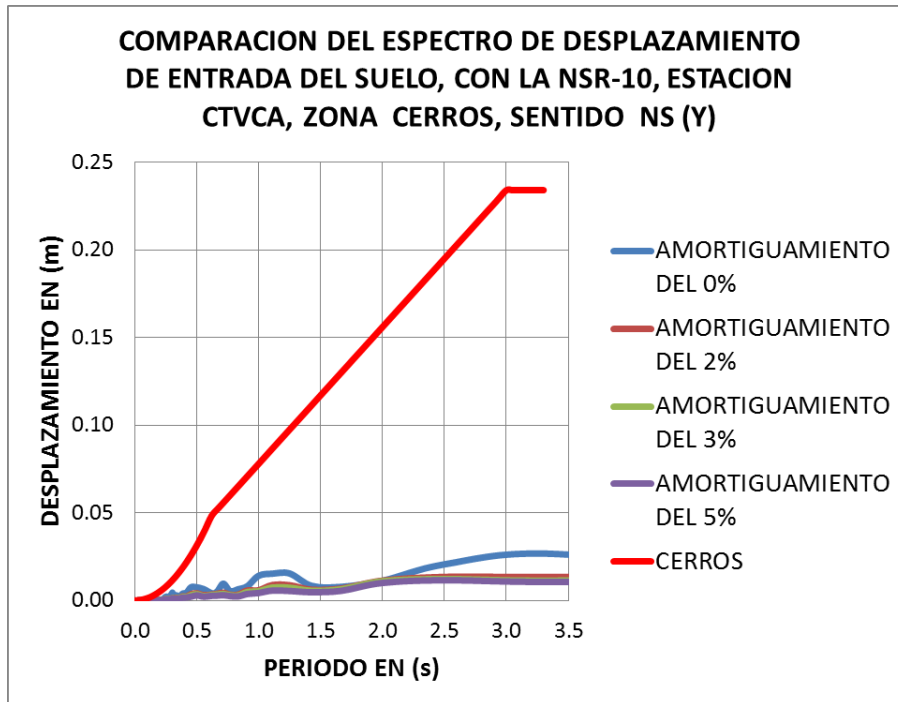
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CTVCA y NSR-10, sentido NS:



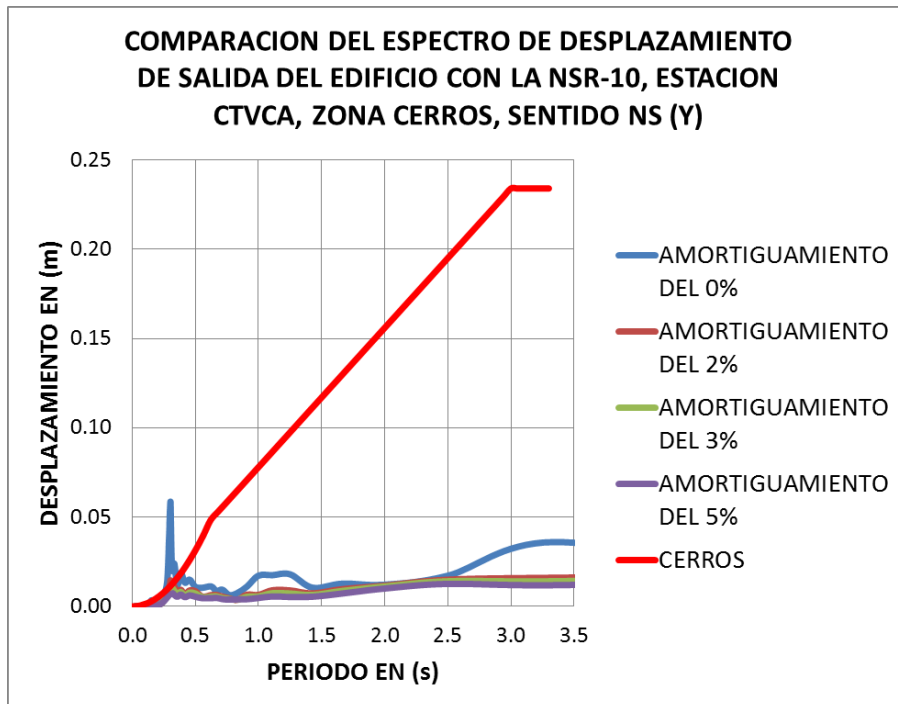
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CTVCA y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CTVCA y NSR-10, sentido NS:

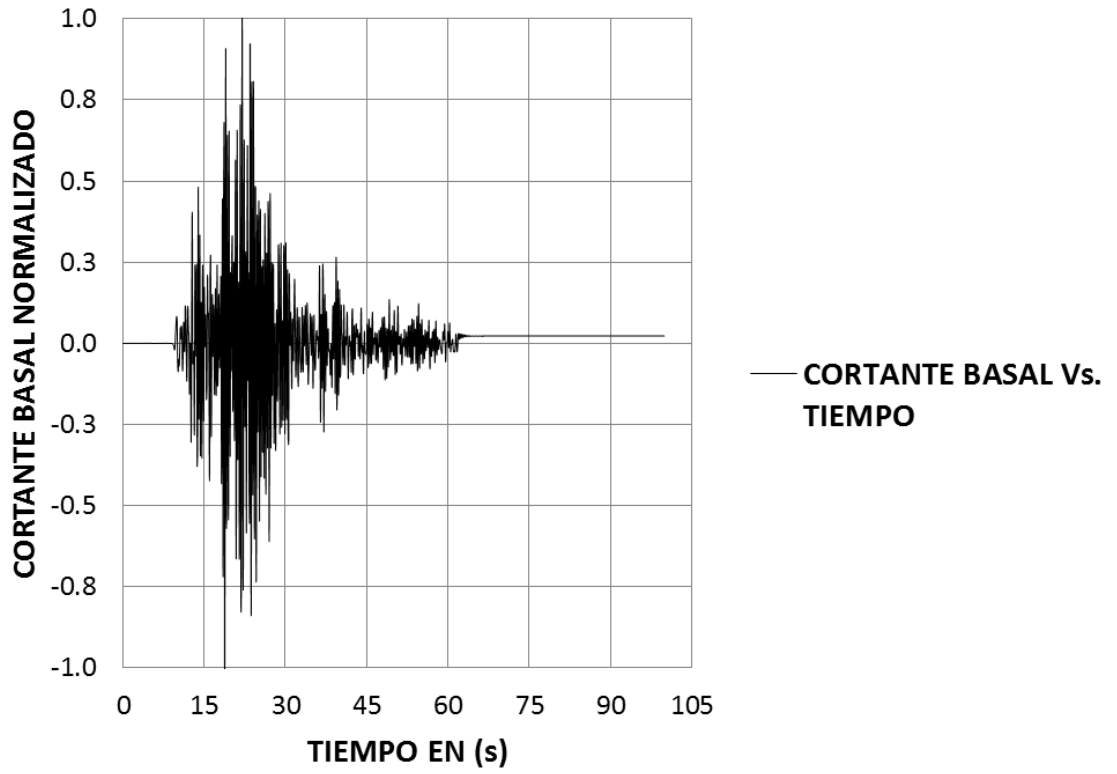


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA CERROS

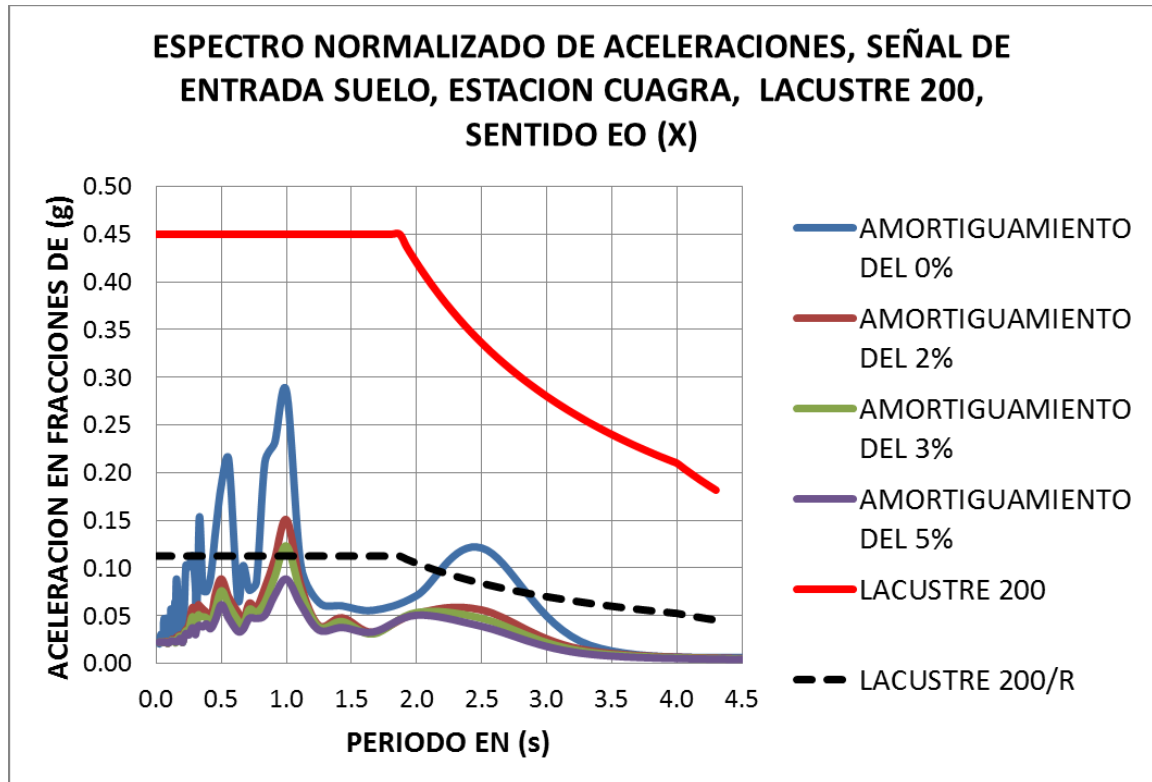


Fuente: Elaboración propia

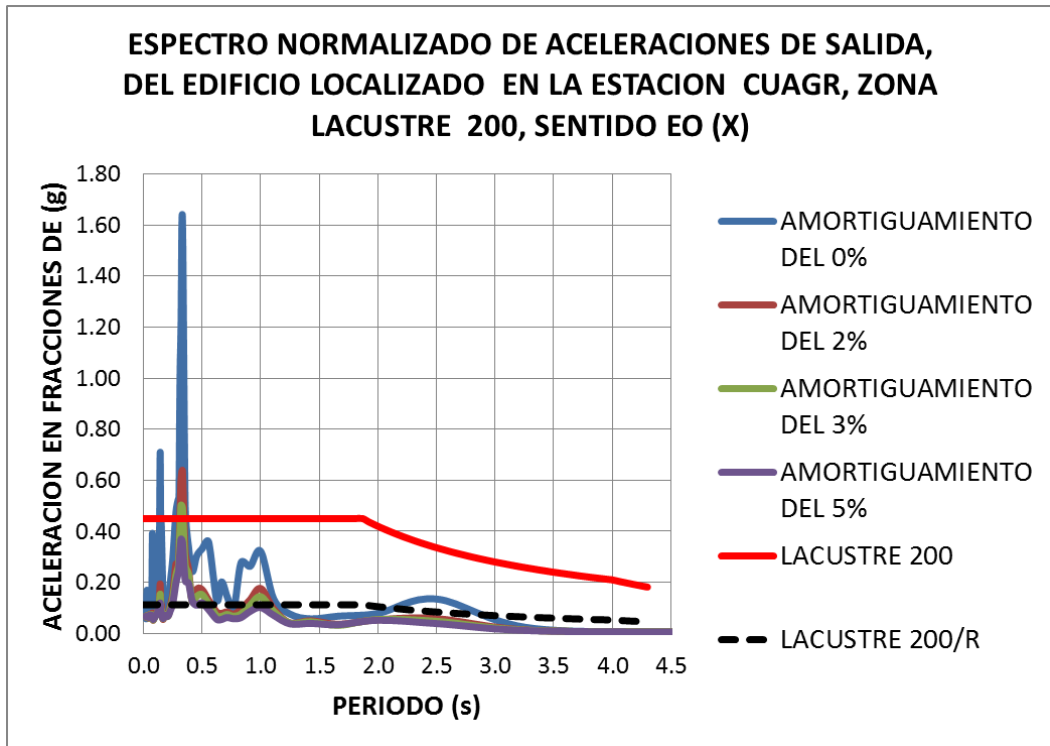
22) **Estación Universidad Agraria:** El código en la RAB es CUAGR, ubicado en la Calle 170 # 50-90. La estación se localiza en la zona **LACUSTRE 200** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CUAGR, LACUSTRE 200, SENTIDO EO (X):

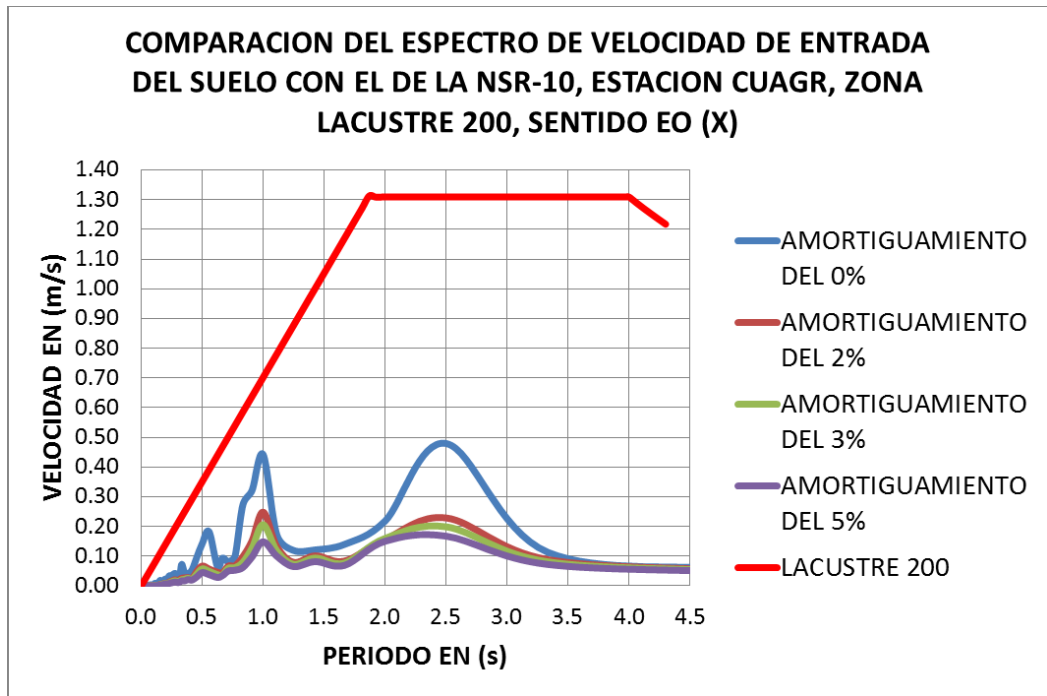
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CUAGR y NSR-10, sentido EO:

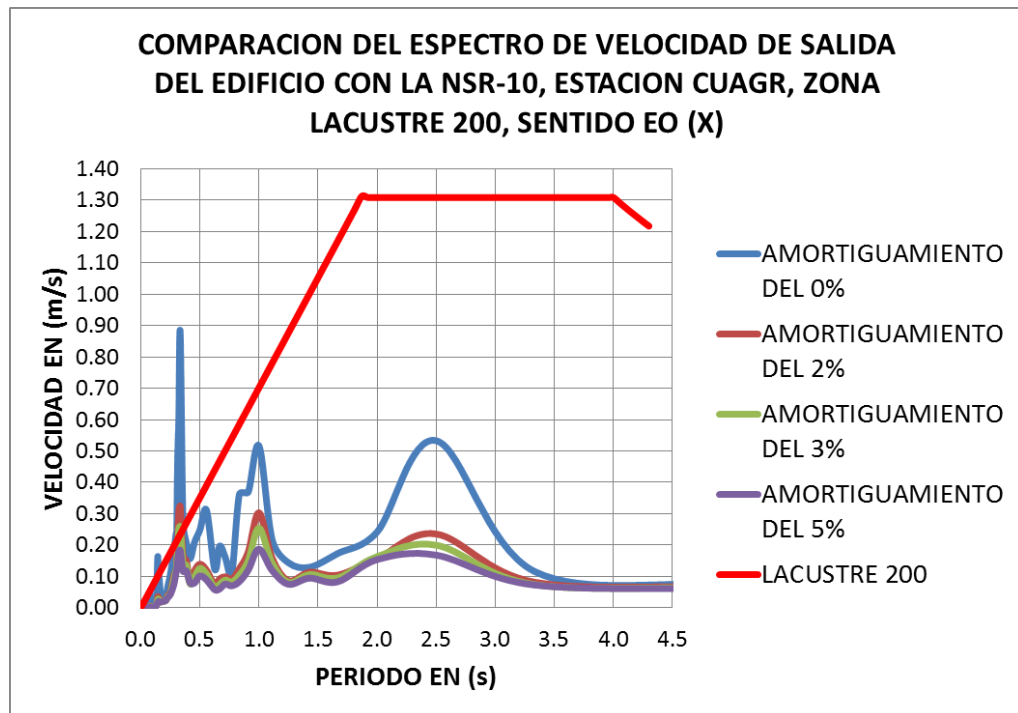


Fuente: Elaboración propia

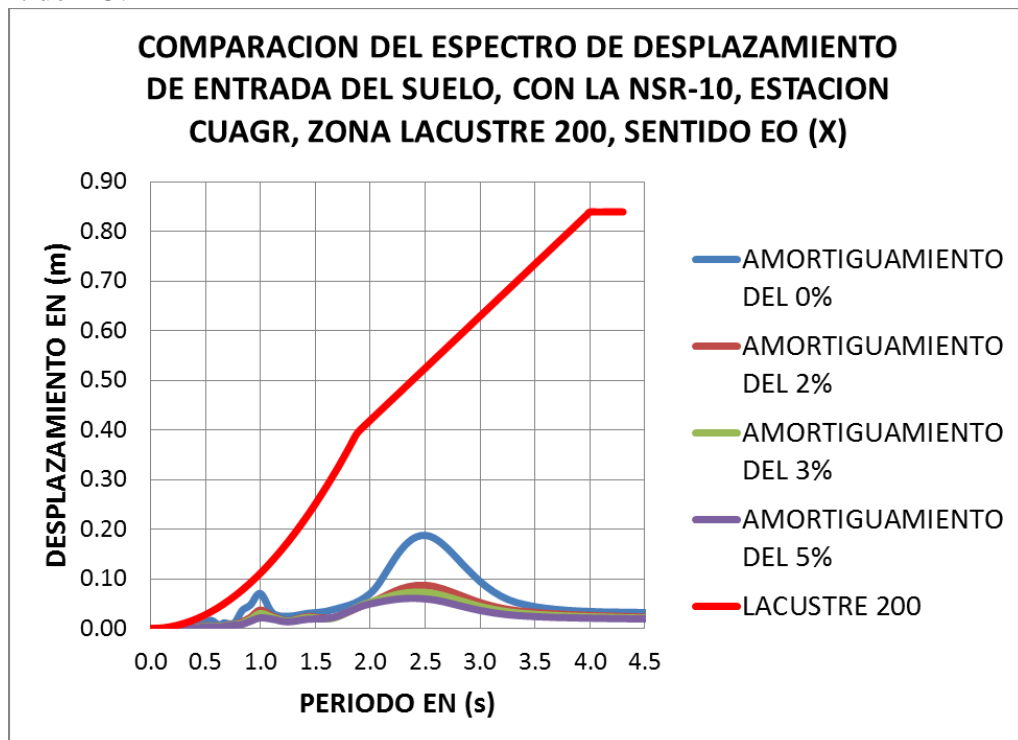


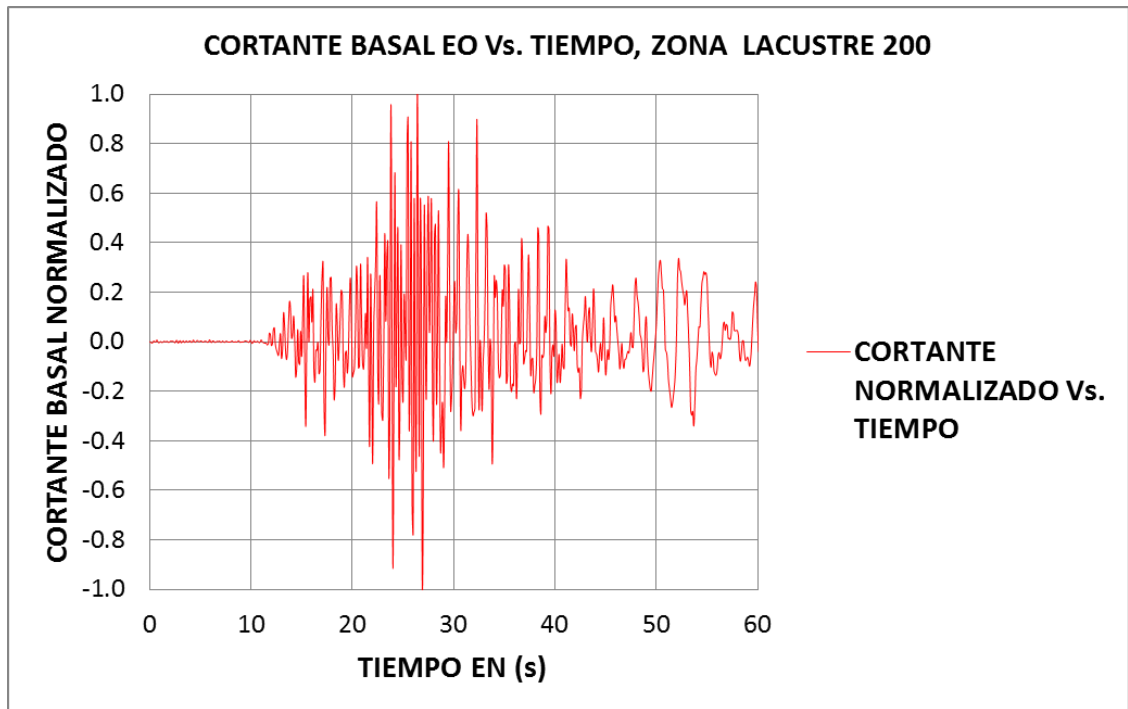
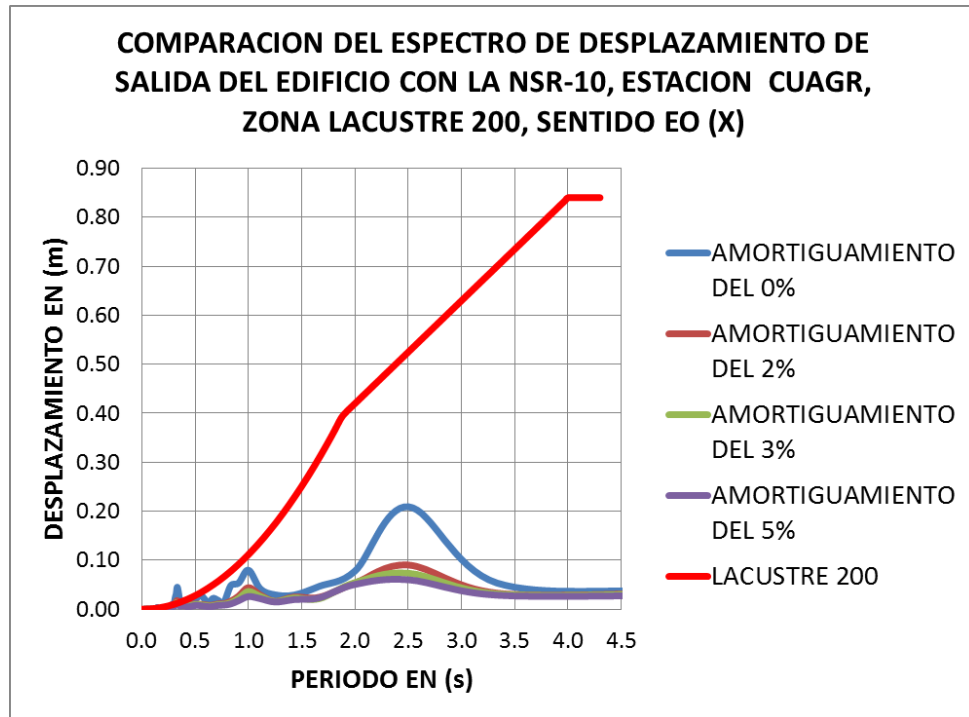
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CUAGR y NSR-10, sentido EO:





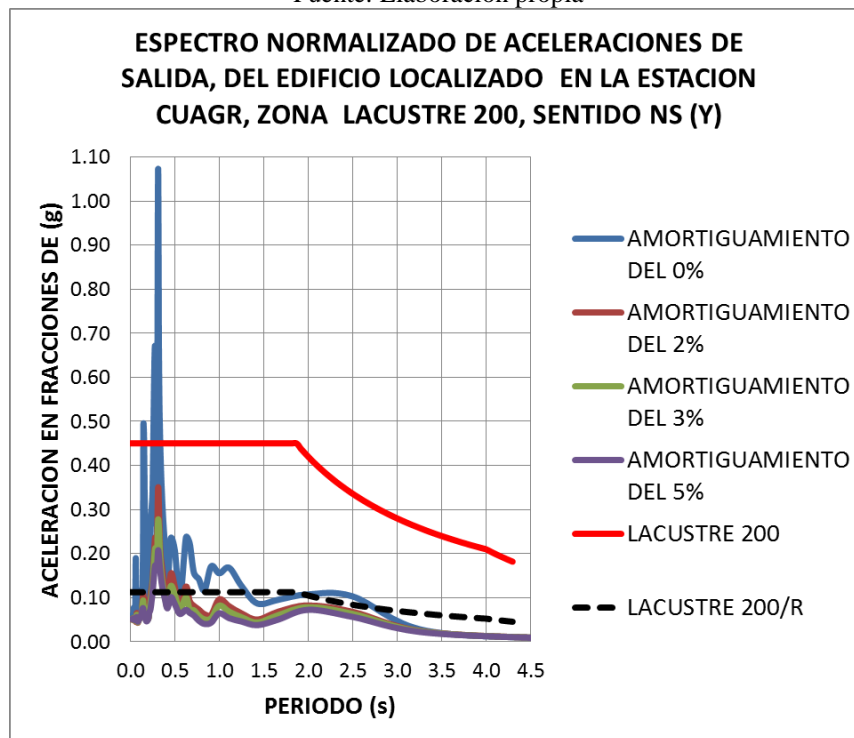
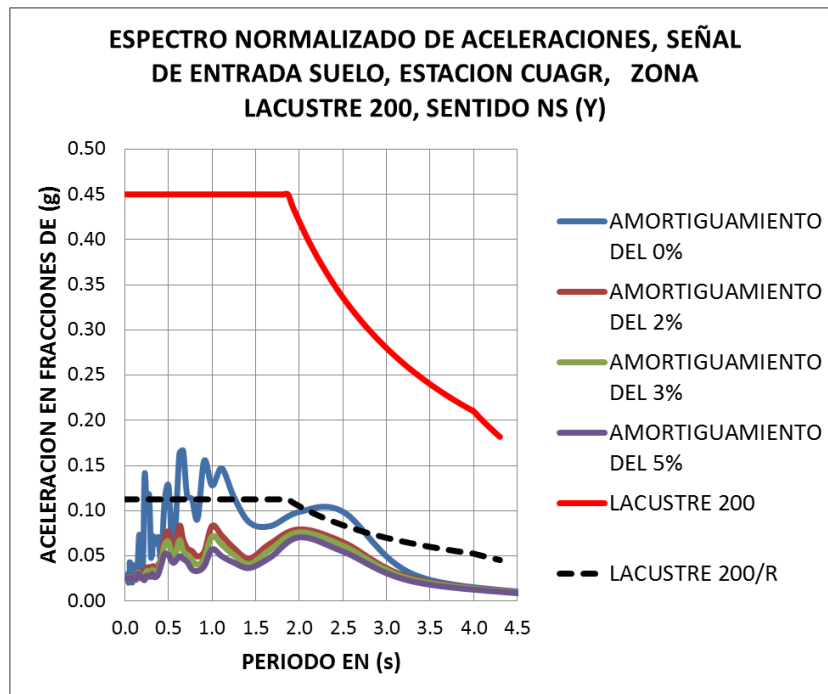
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CUAGR y NSR-10, sentido EO:



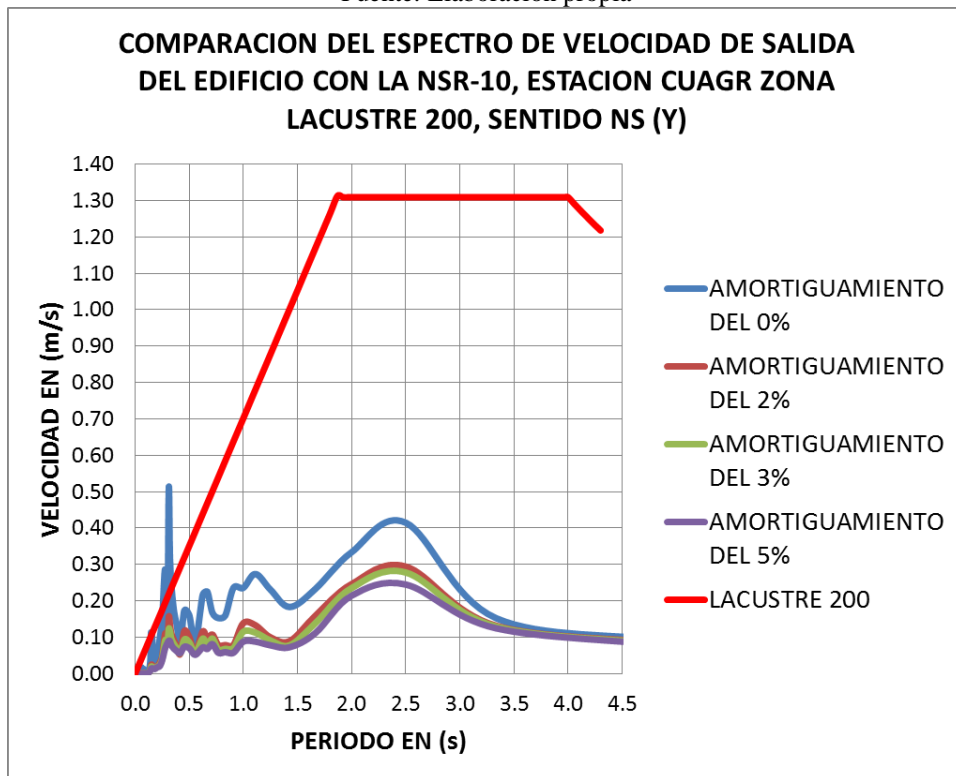
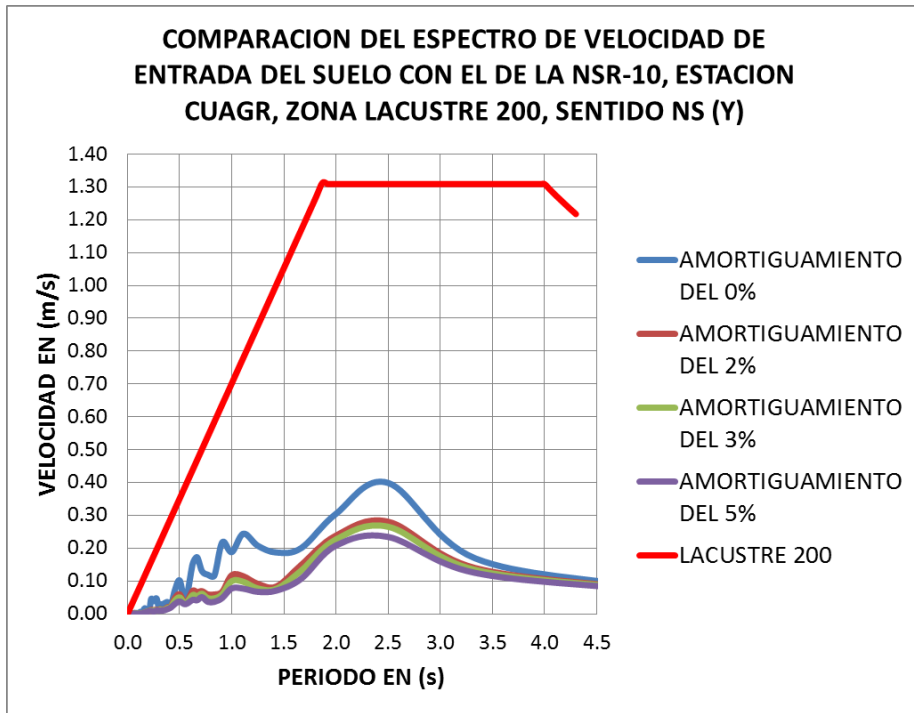


ESTACION CUAGR, LACUSTRE 200, SENTIDO NS (Y):

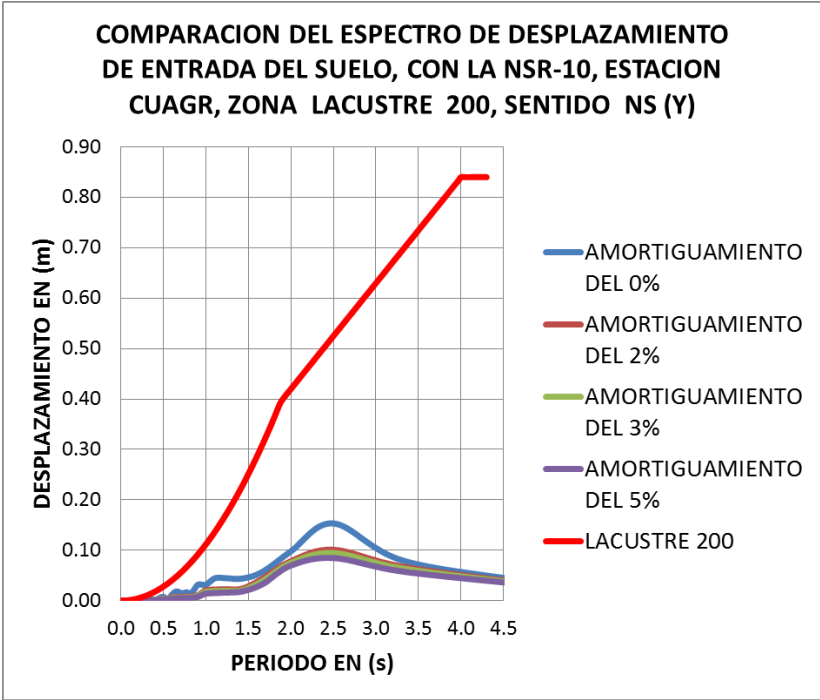
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CUAGR y NSR-10, sentido NS:



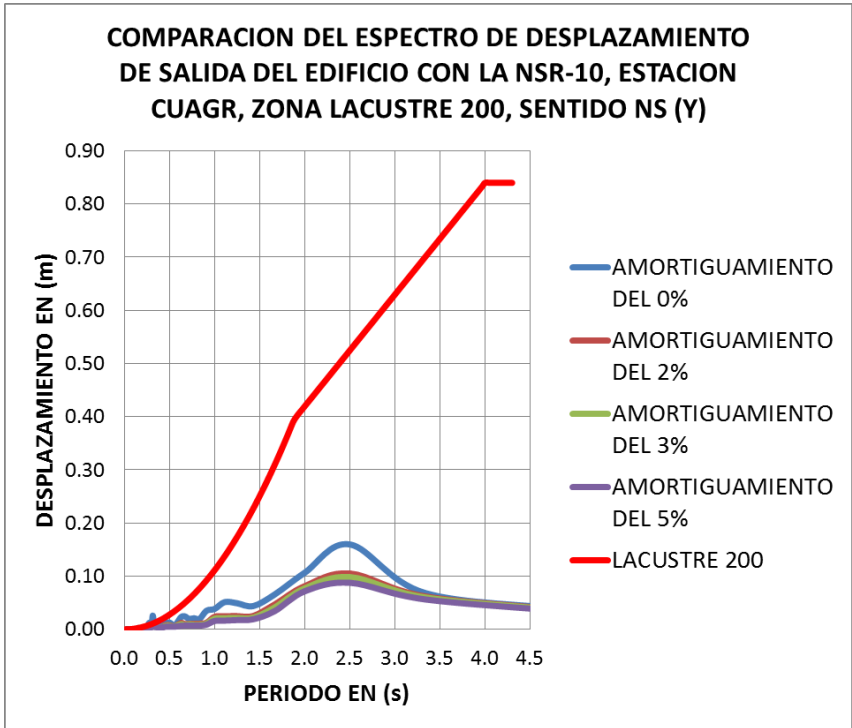
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CUAGR y NSR-10, sentido NS:



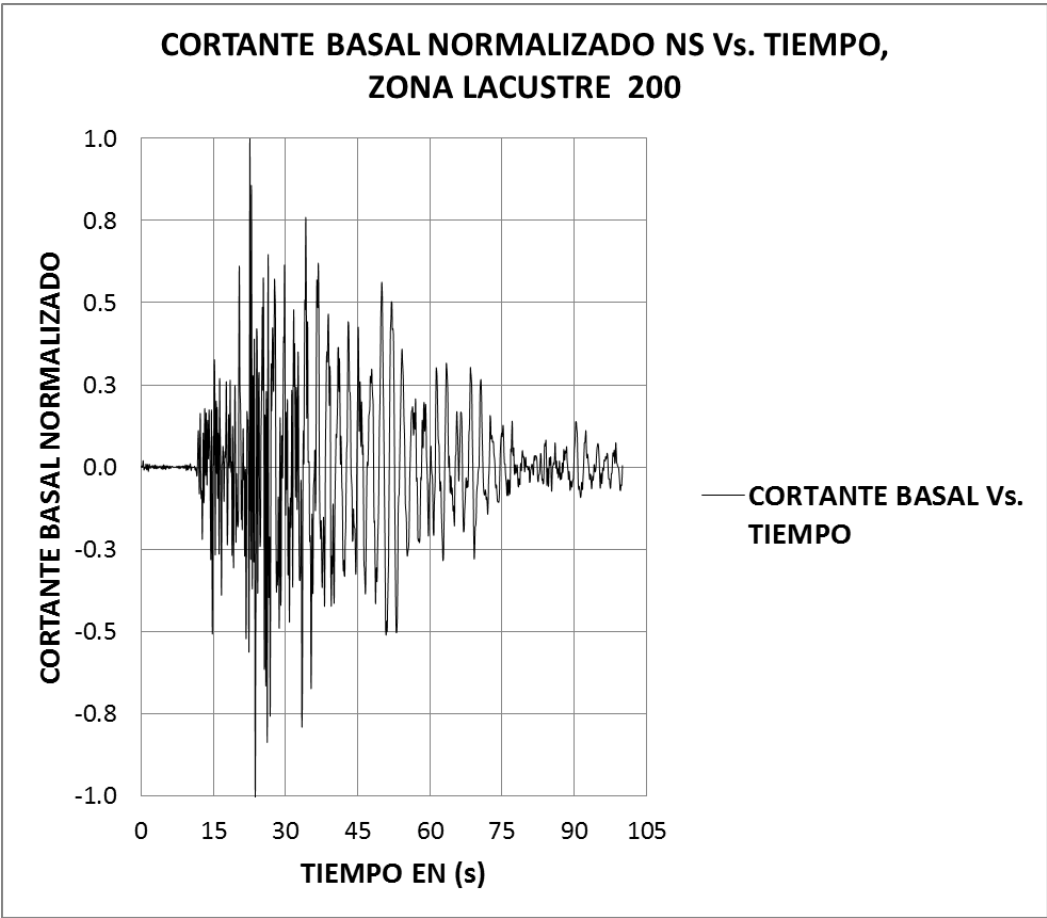
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CUAGR y NSR-10, sentido NS:



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

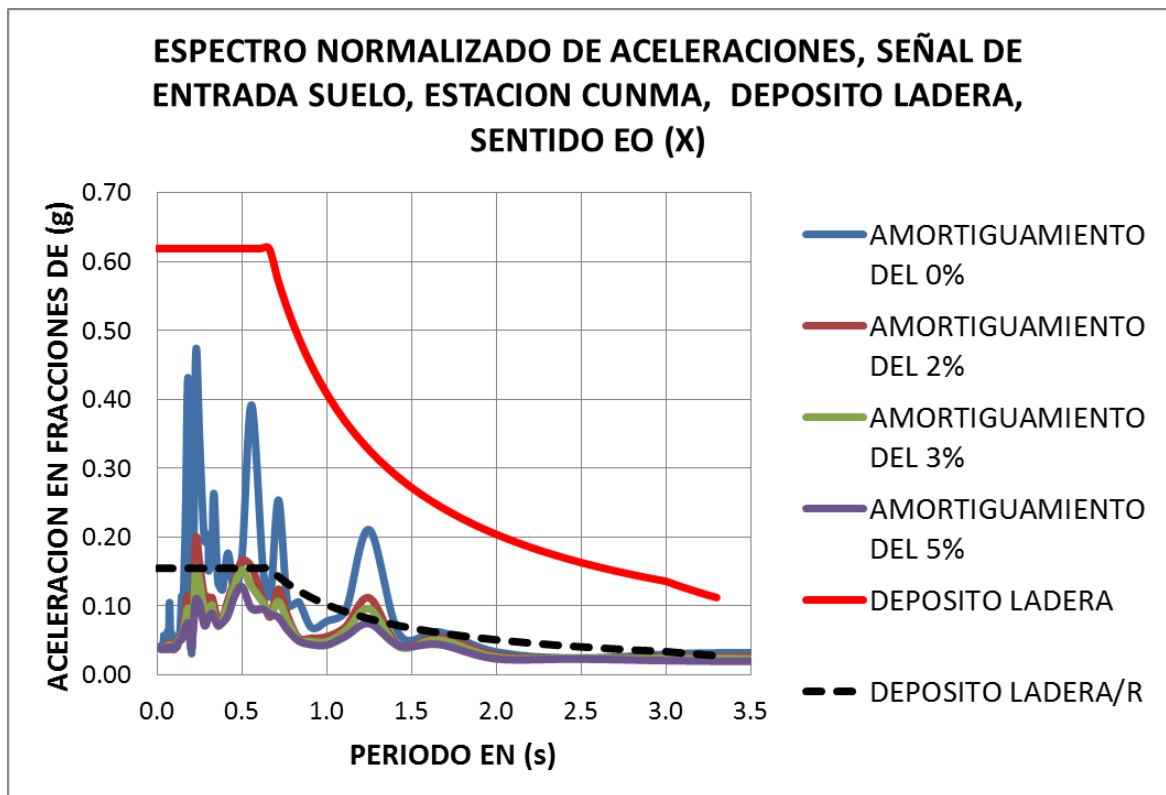


Fuente: Elaboración propia

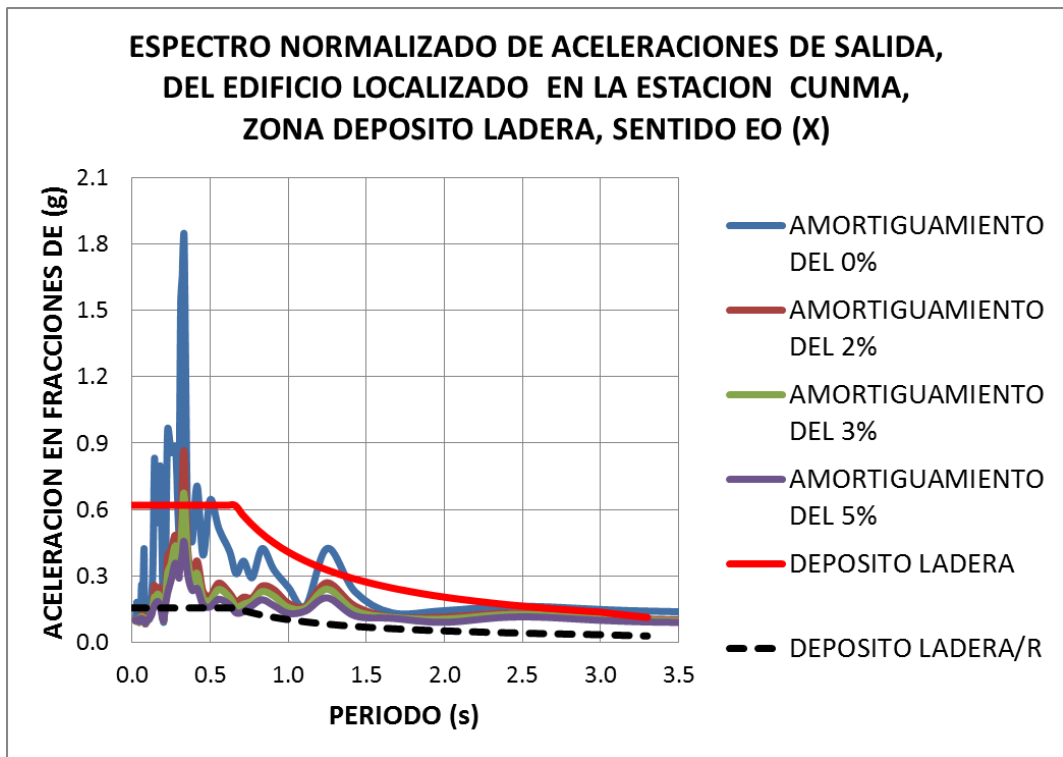
- 23) **Estación Universidad Manuel Beltrán:** El código en la RAB es CUNMA, ubicado en la Carrera 3 Este # 60-50. La estación se localiza en la zona **DEPOSITO DE LADERA** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CUNMA, DEPÓSITO DE LADERA, SENTIDO EO (X):

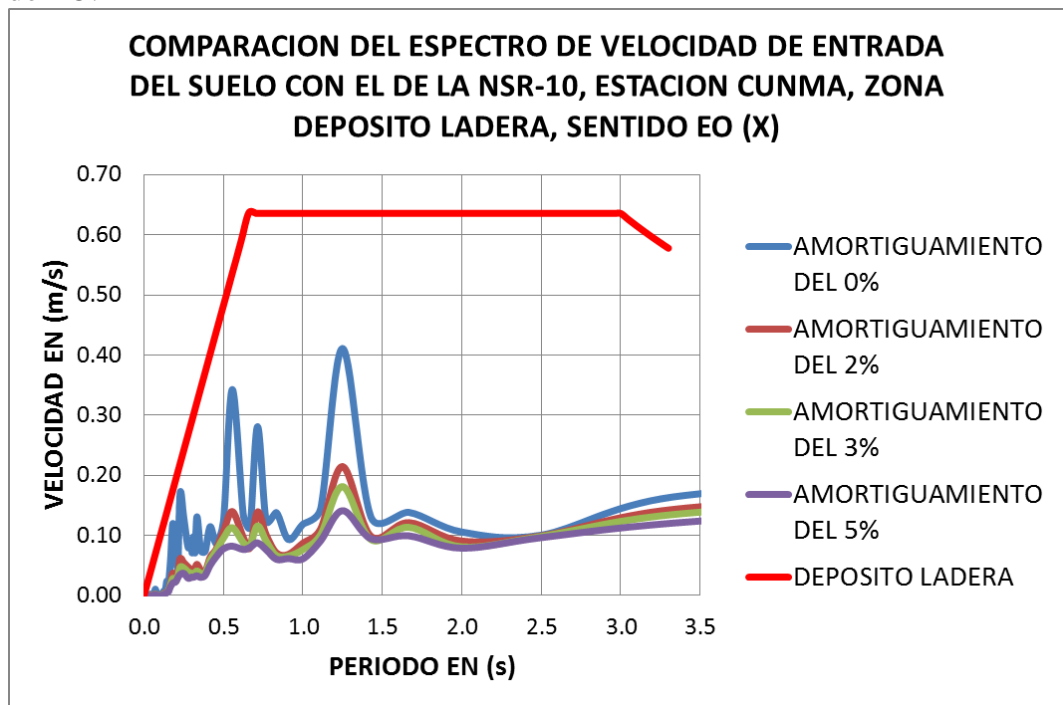
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CUNMA y NSR-10, sentido EO:

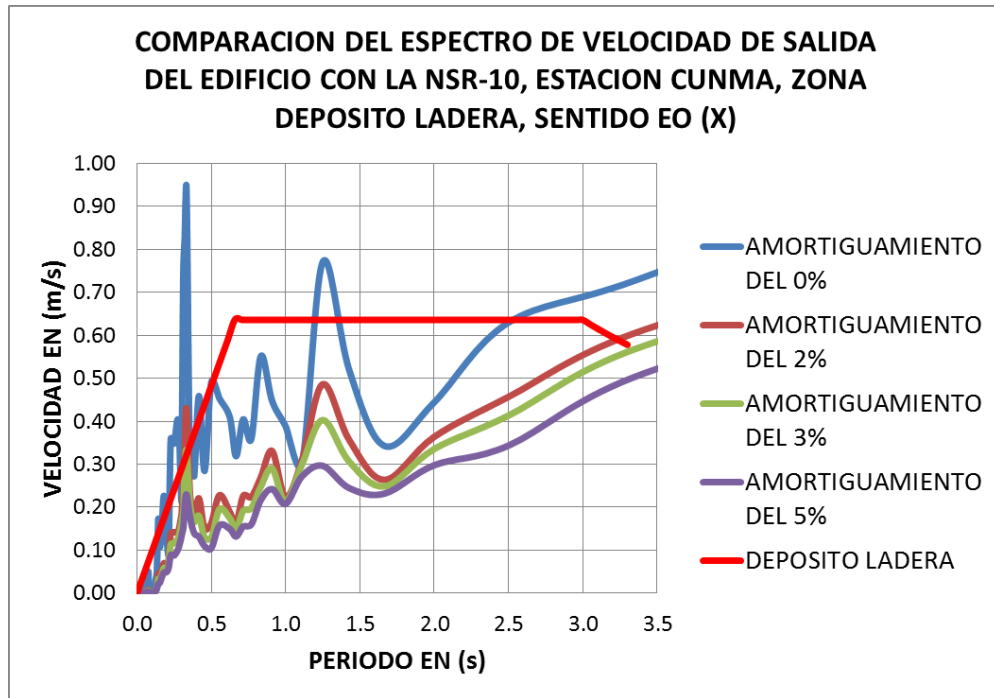


Fuente: Elaboración propia

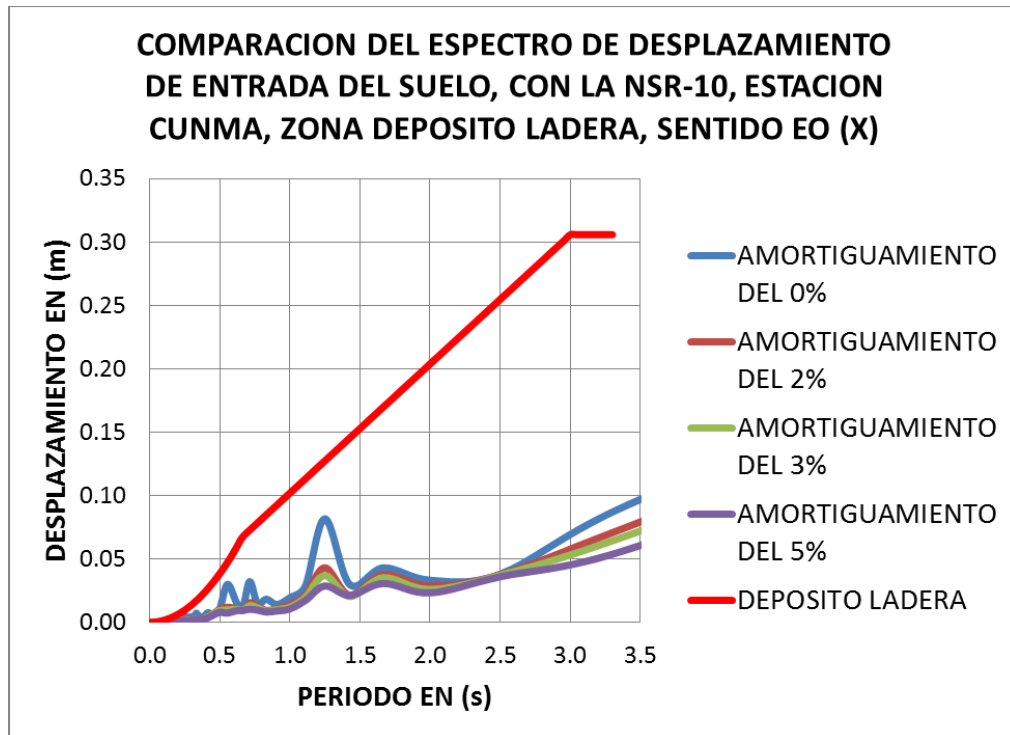


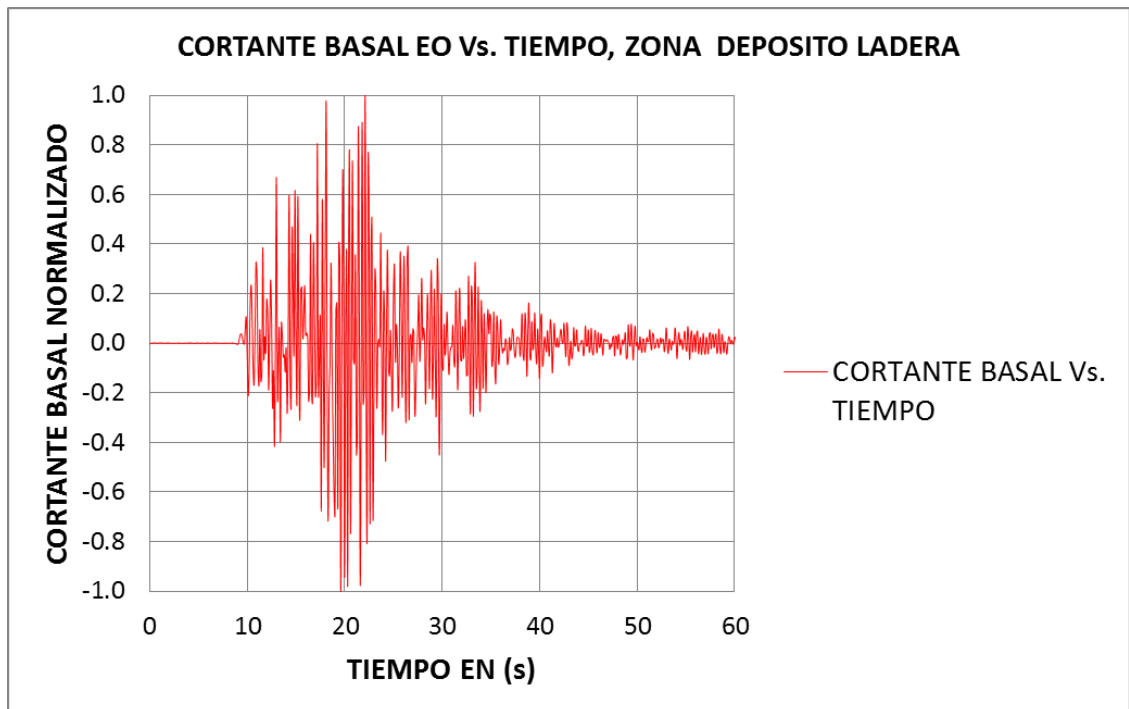
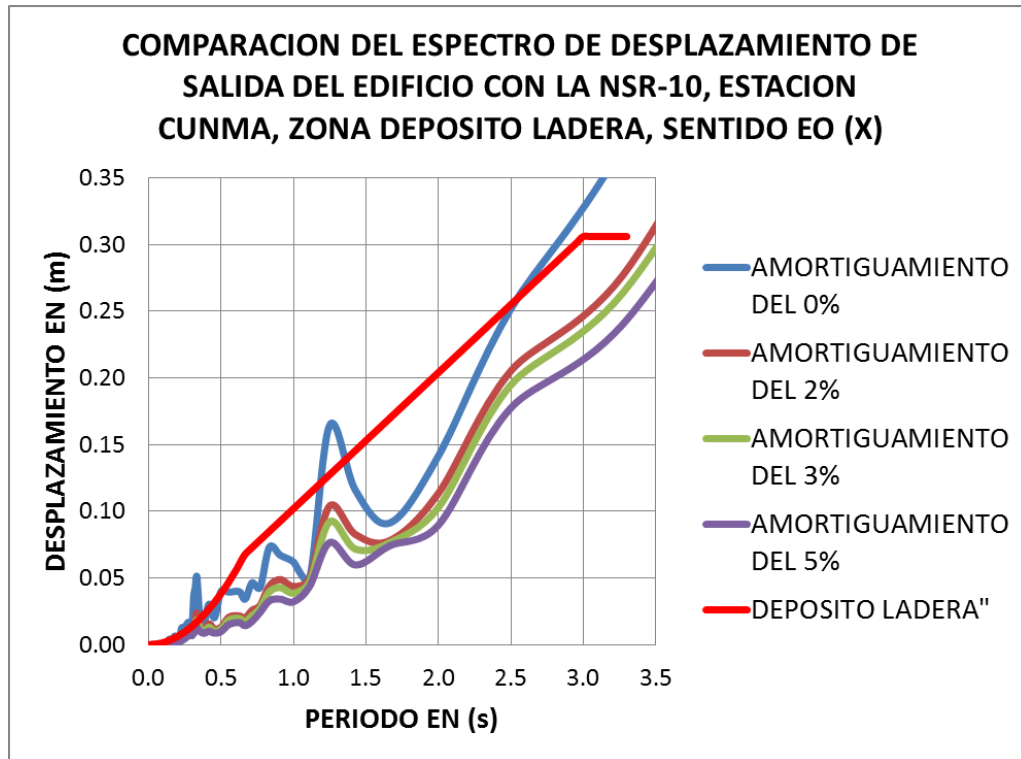
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CUNMA y NSR-10, sentido EO:





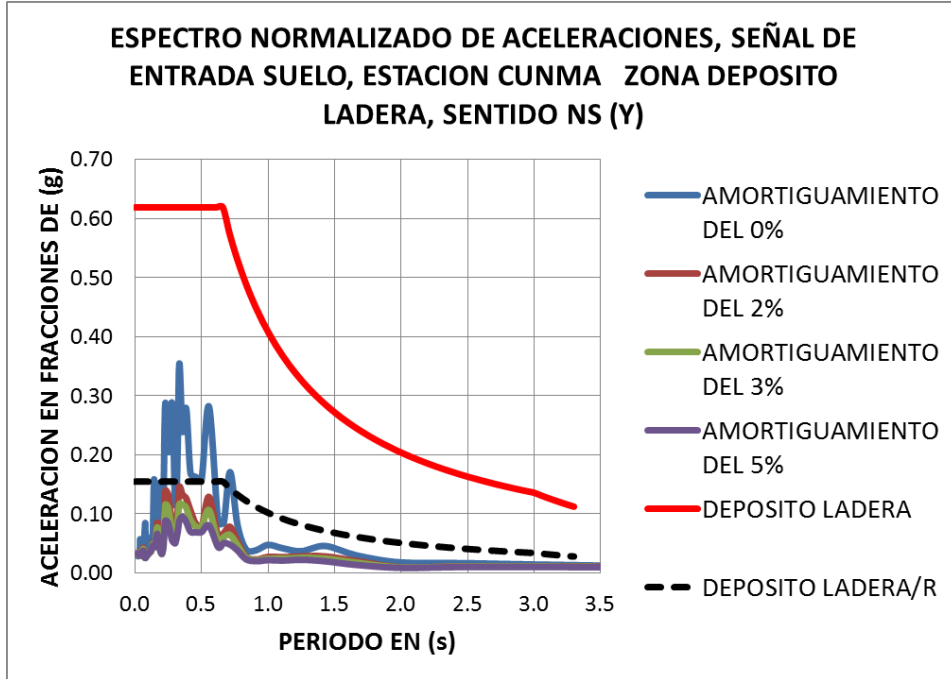
-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CUNMA y NSR-10, sentido EO:



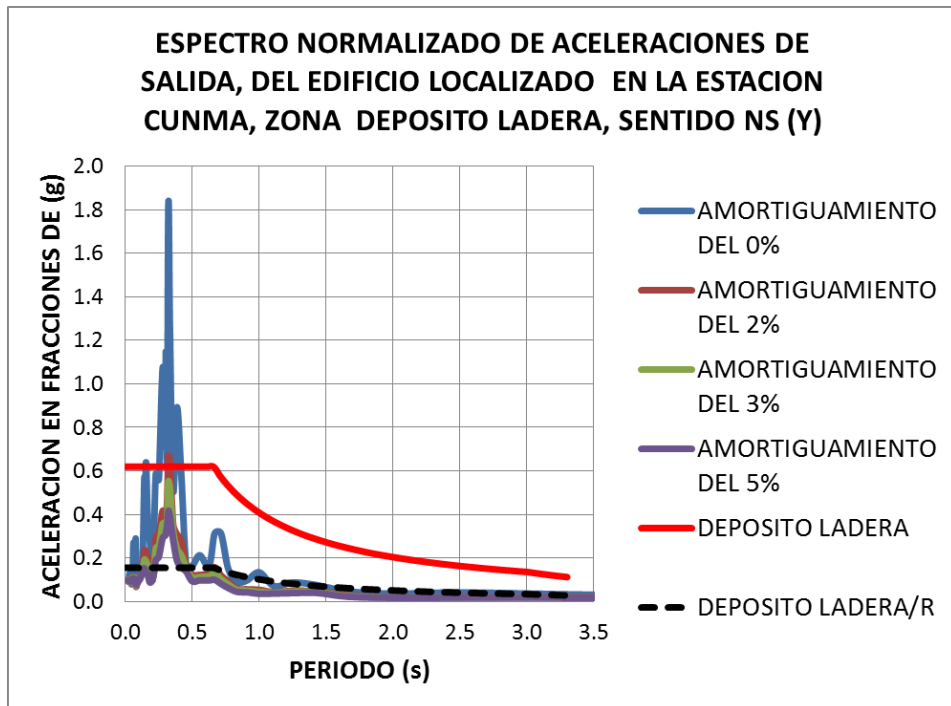


ESTACION CUNMA, DEPÓSITO DE LADERA, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CUNMA y NSR-10, sentido NS:

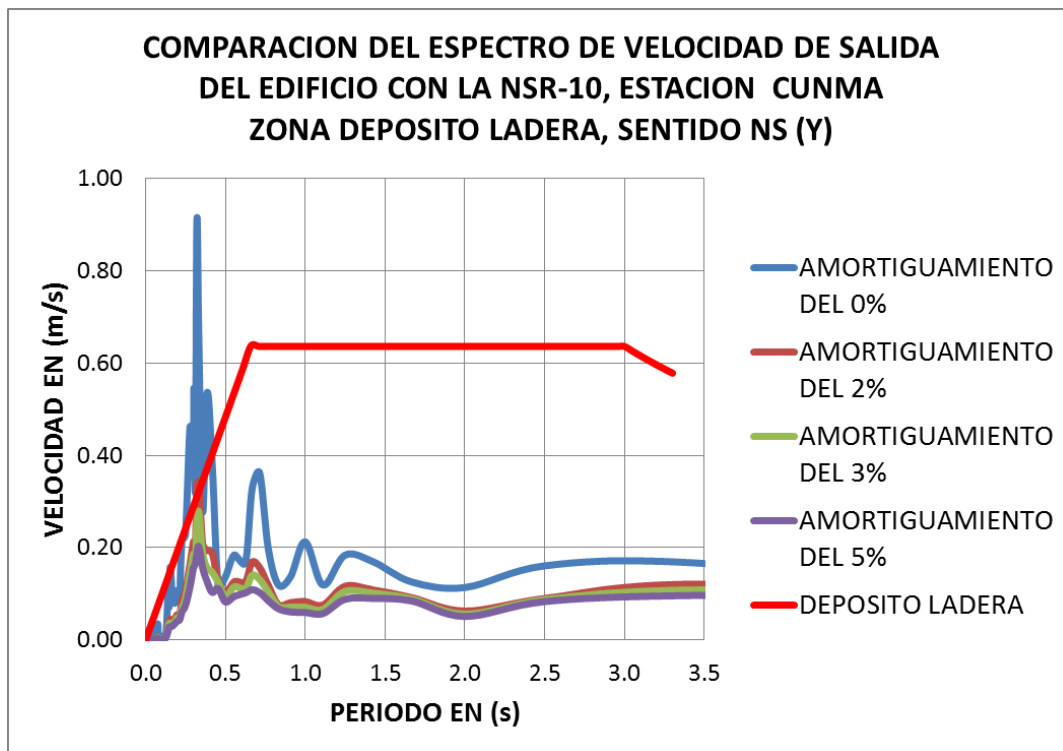
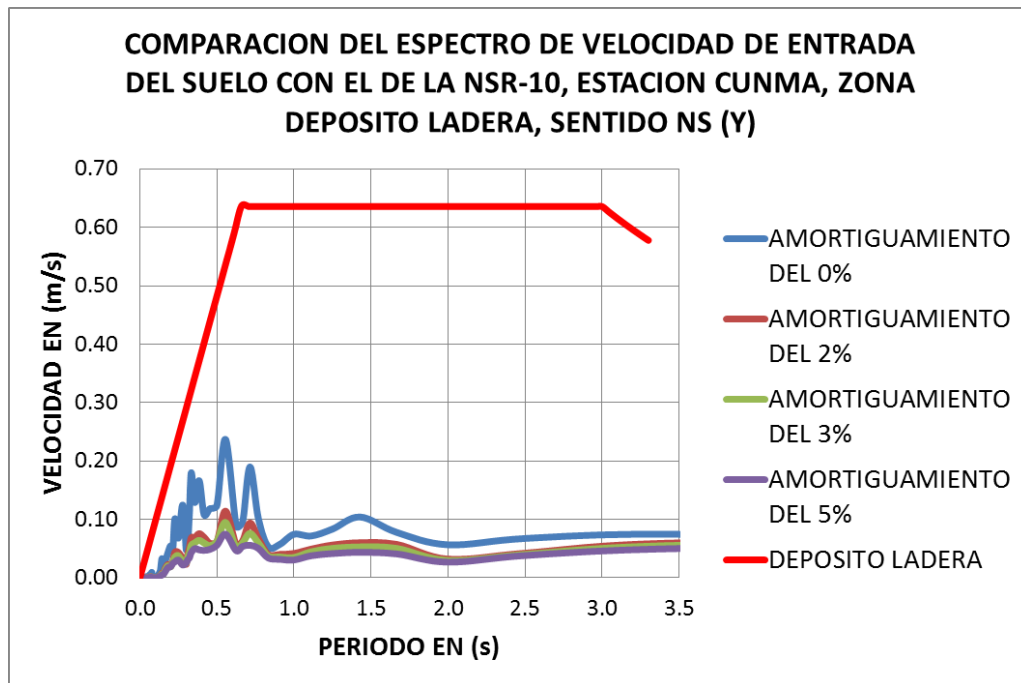


Fuente: Elaboración propia

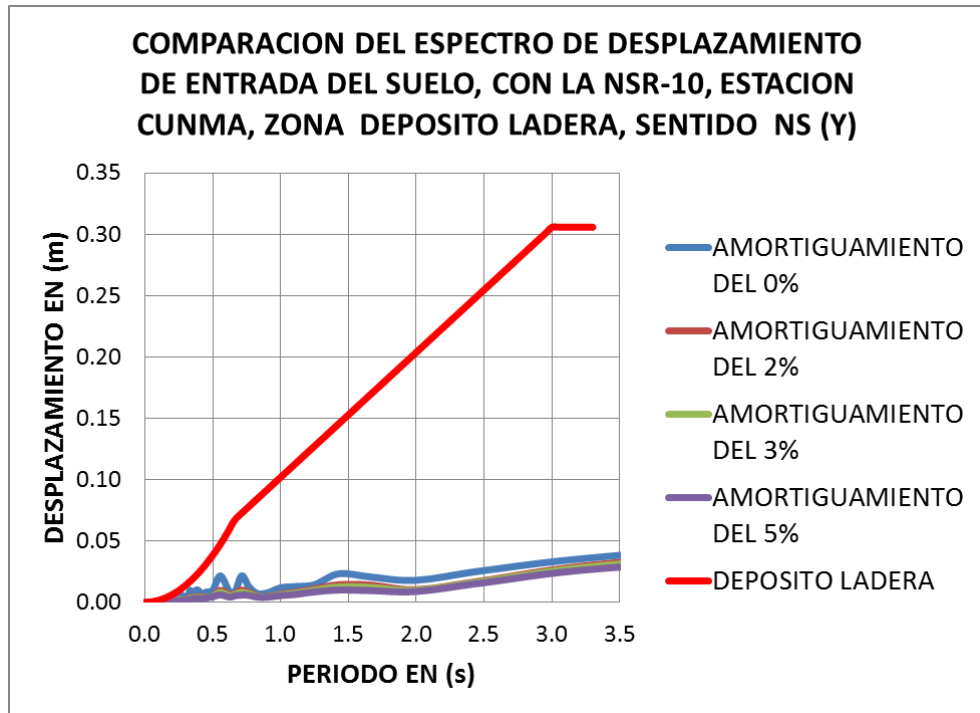


Fuente: Elaboración propia

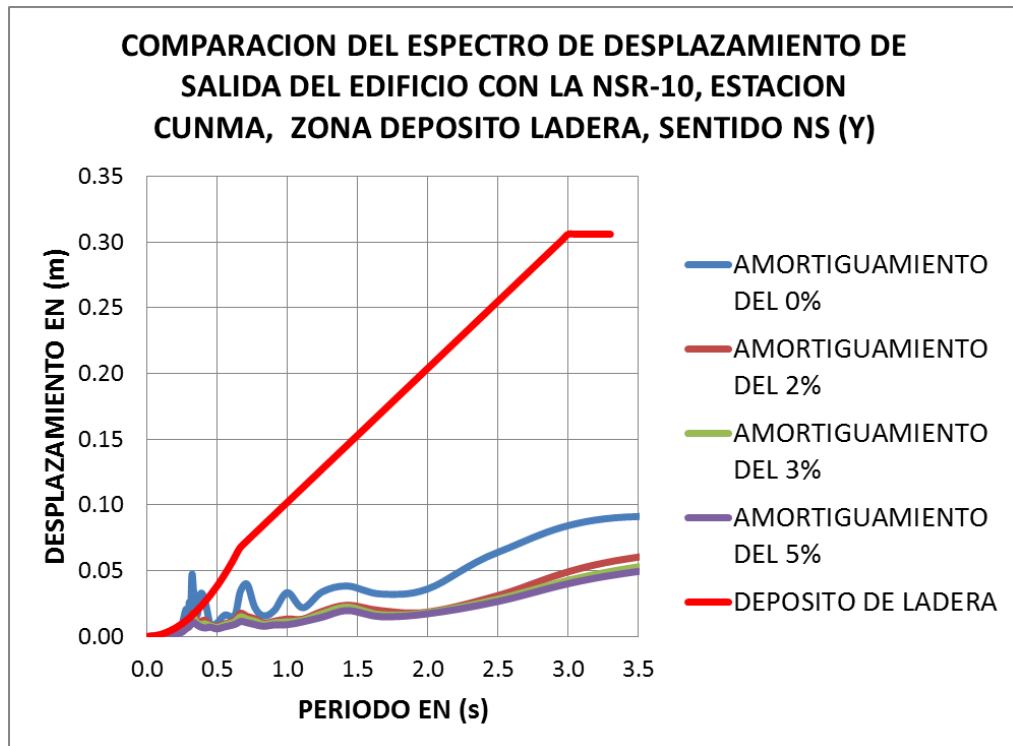
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CUNMA y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CUNMA y NSR-10, sentido NS:

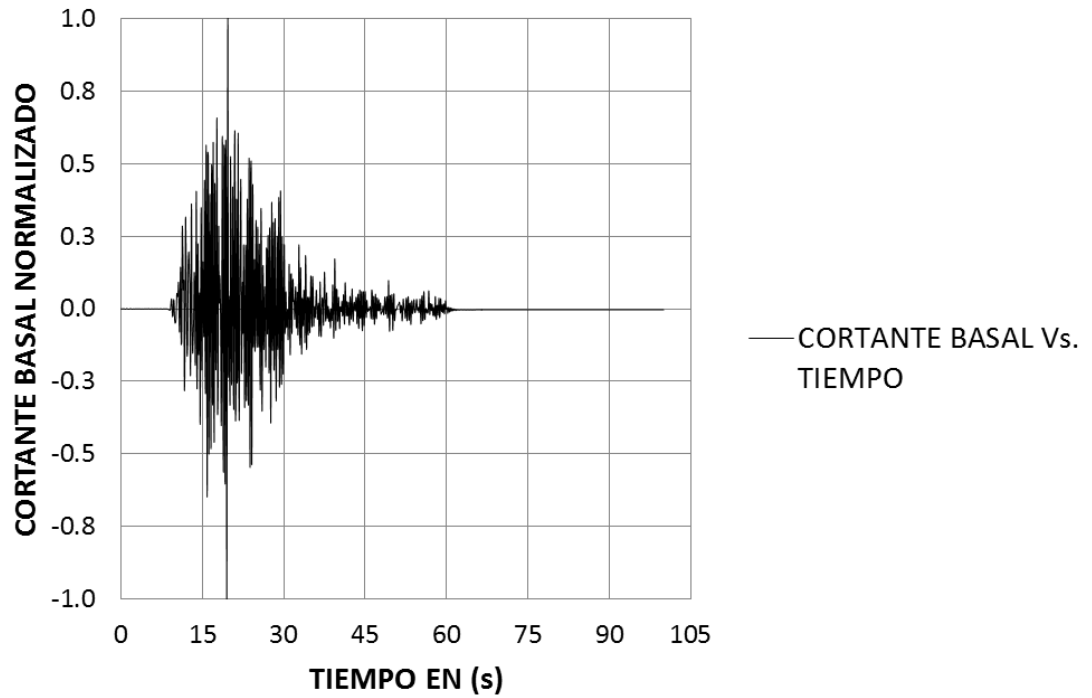


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

**CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA
DEPOSITO LADERA**

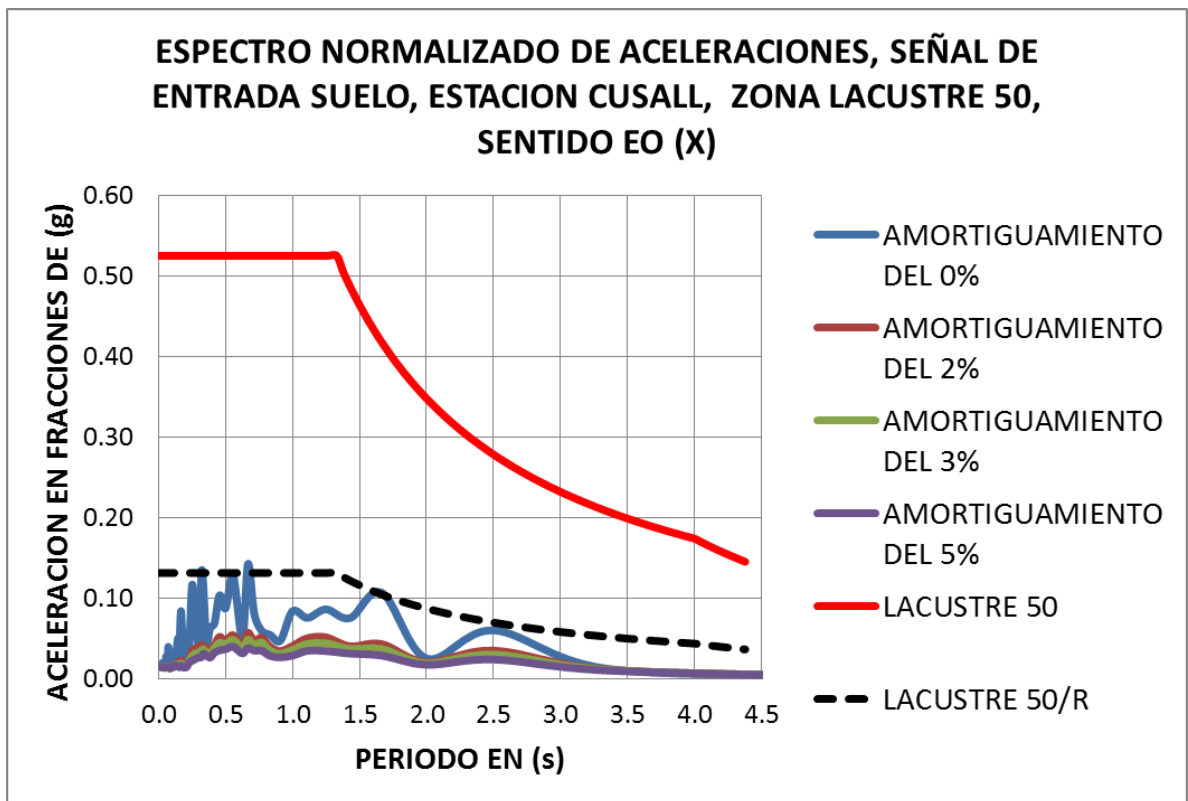


Fuente: Elaboración propia

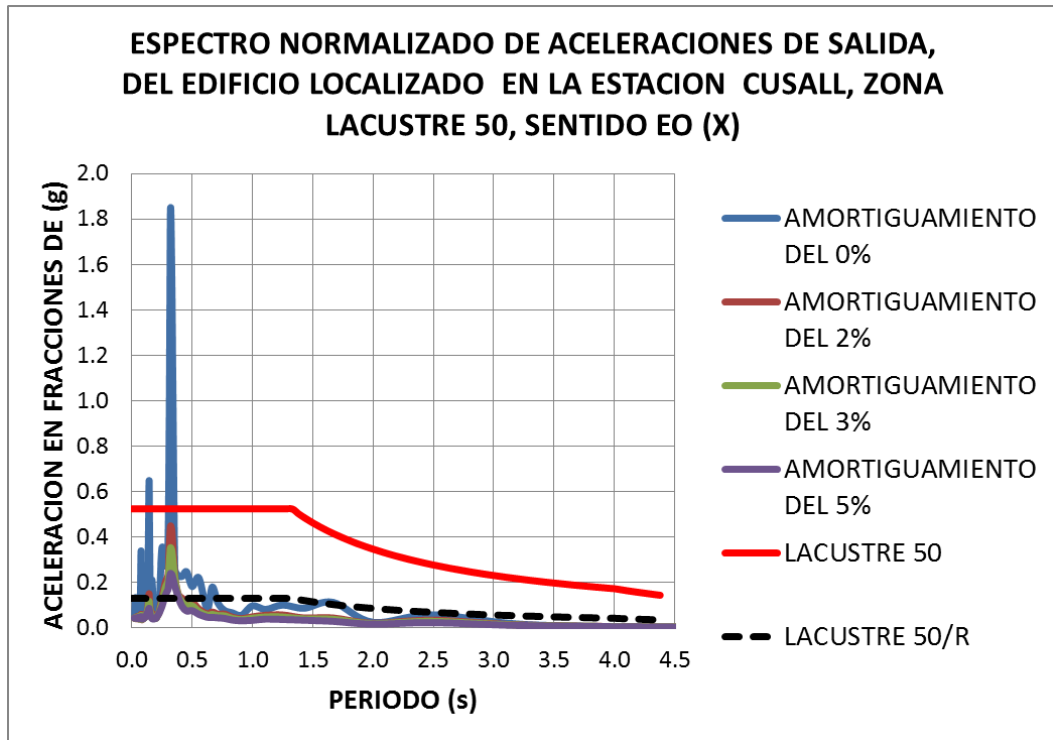
- 24) **Estación Universidad De La Salle:** El código en la RAB es CUSALL, ubicado en la Carrera 7 # 172-85. La estación se localiza en la zona **LACUSTRE 50** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CUSALL, LACUSTRE 50, SENTIDO EO (X):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CUSALL y NSR-10, sentido EO:

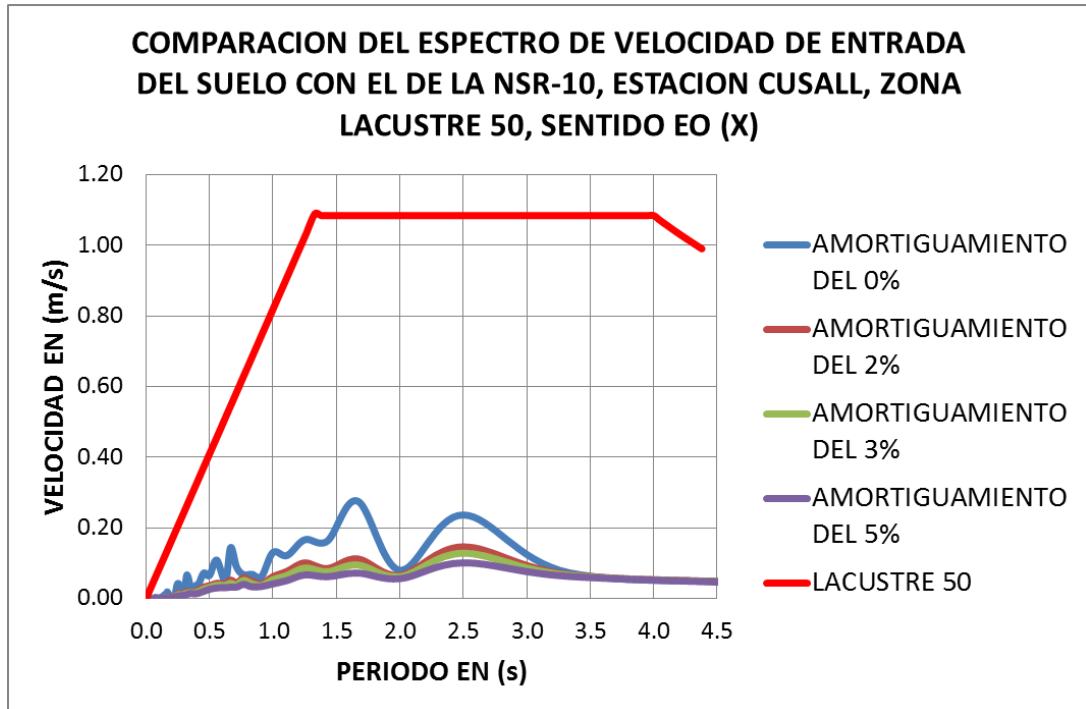


Fuente: Elaboración propia

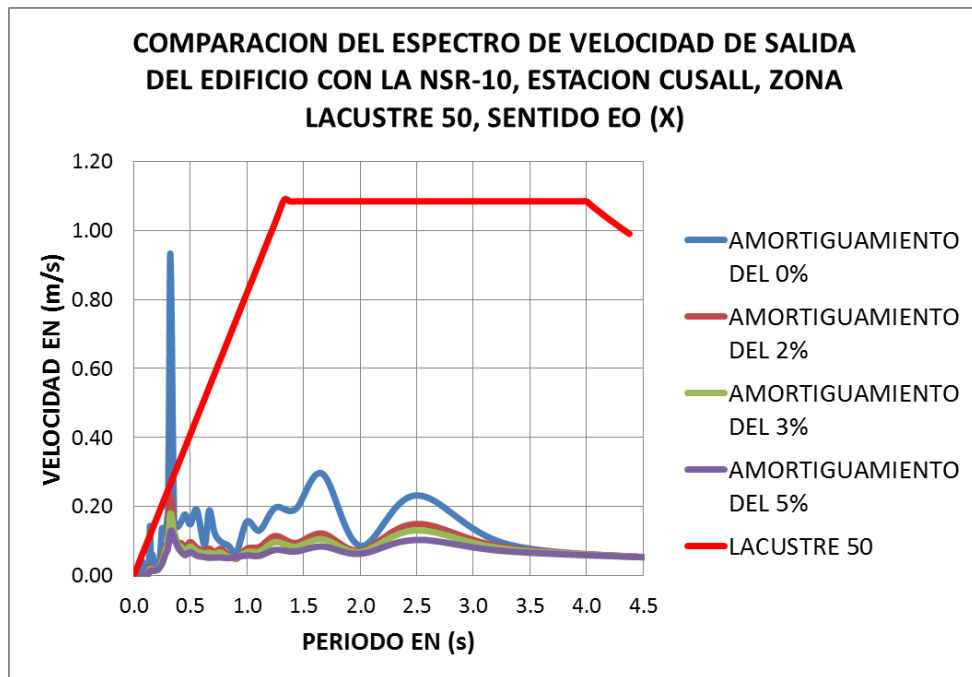


Fuente: Elaboración propia

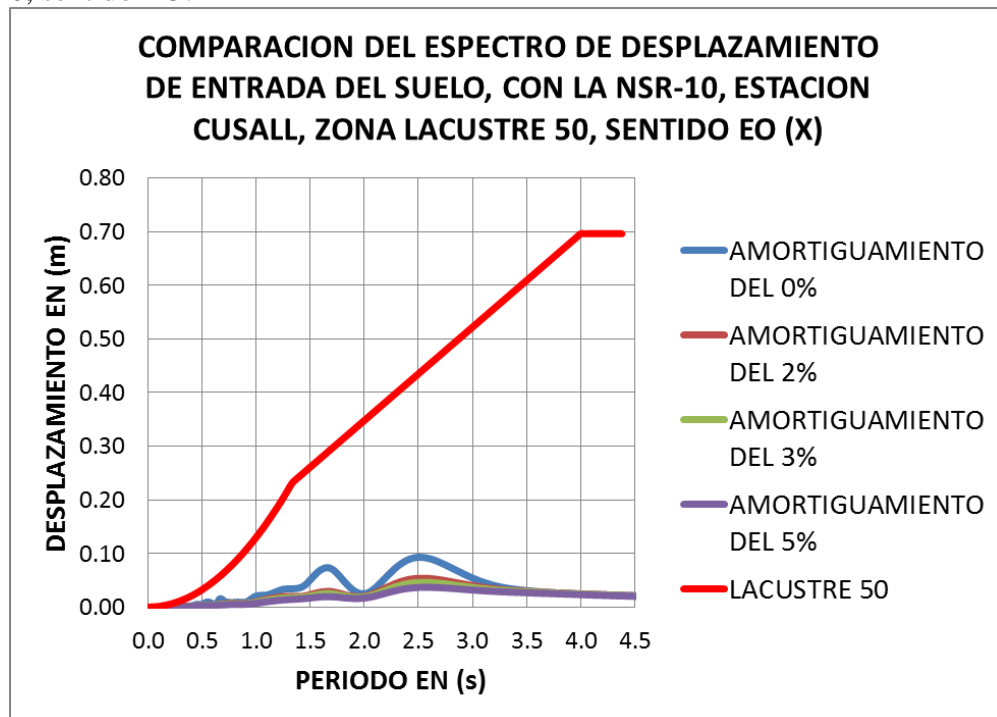
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CUSALL y NSR-10, sentido EO:

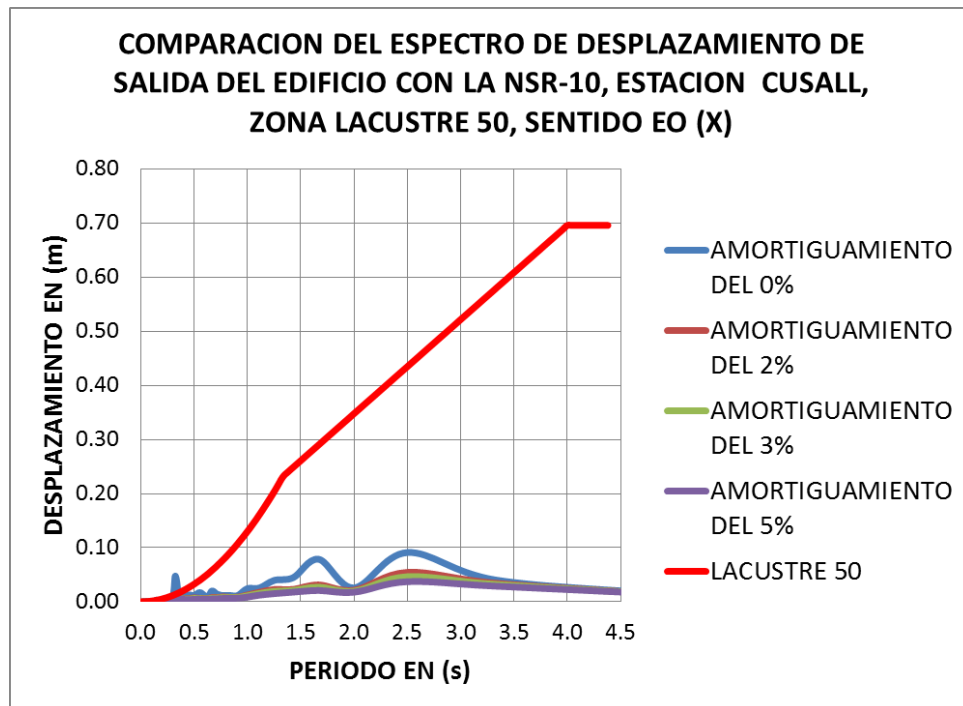


Fuente: Elaboración propia

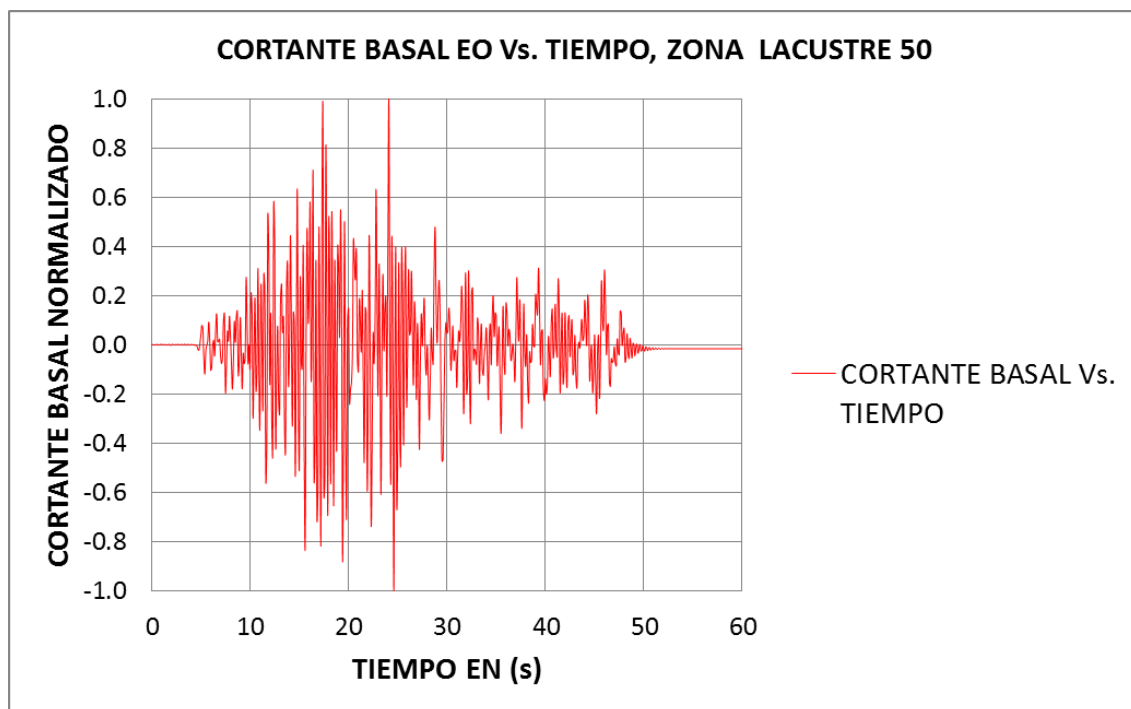


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CUSALL y NSR-10, sentido EO:





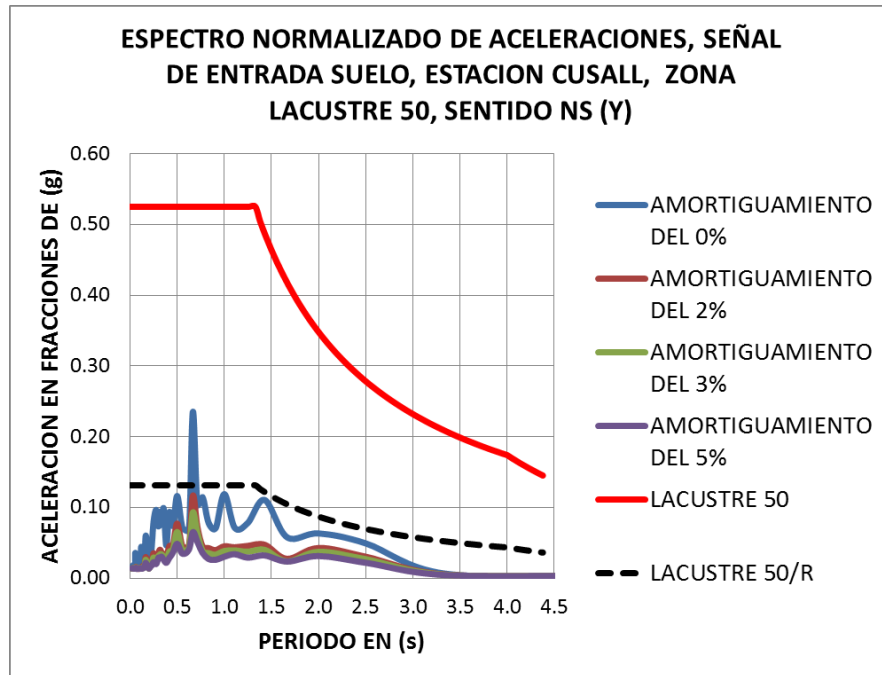
Fuente: Elaboración propia



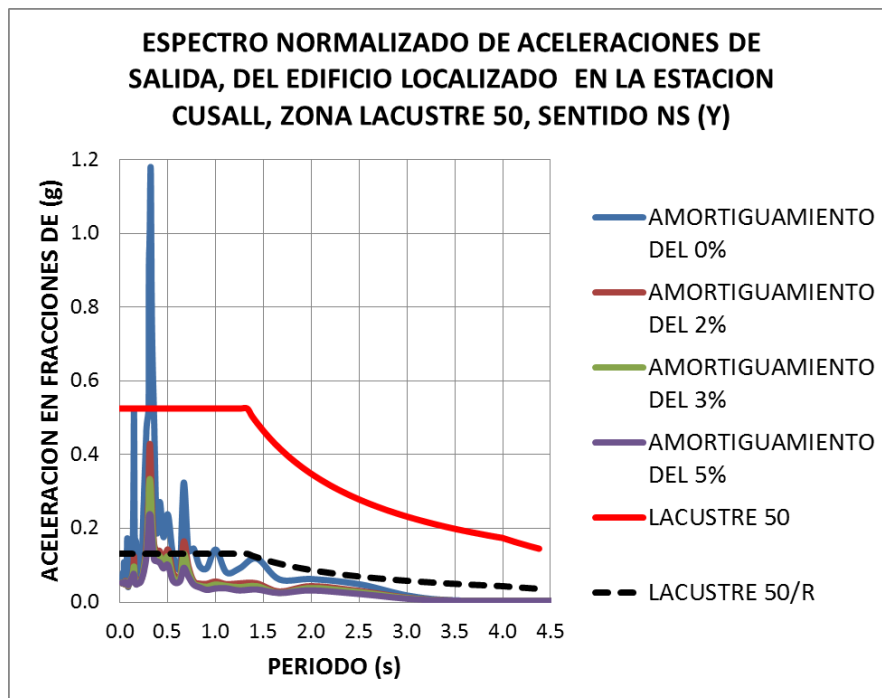
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CUSALL, LACUSTRE 50, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CUSALL y NSR-10, sentido NS:

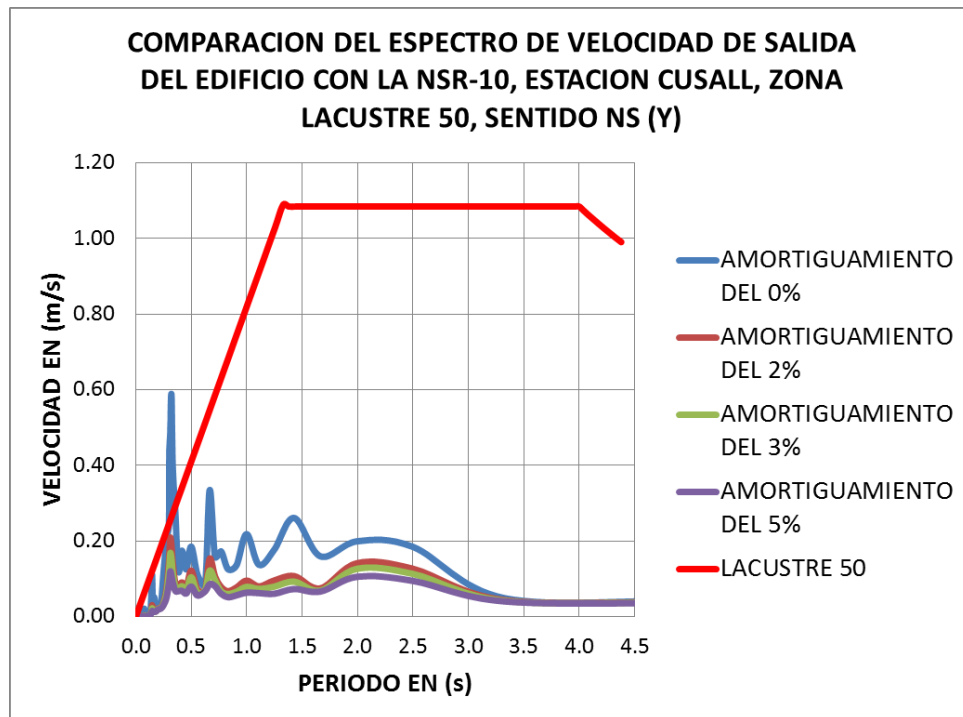
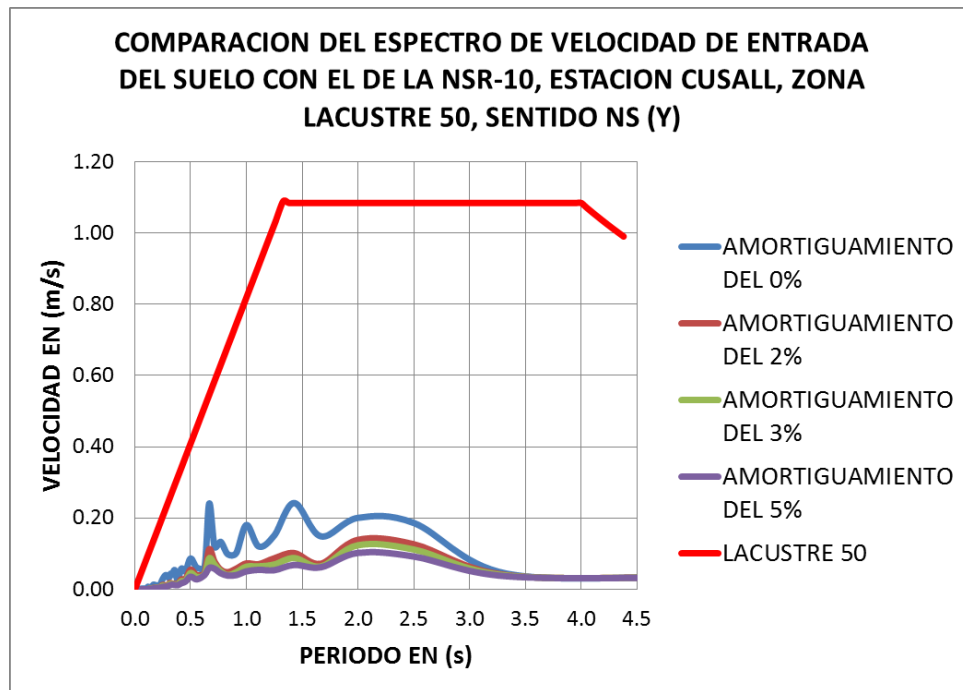


Fuente: Elaboración propia

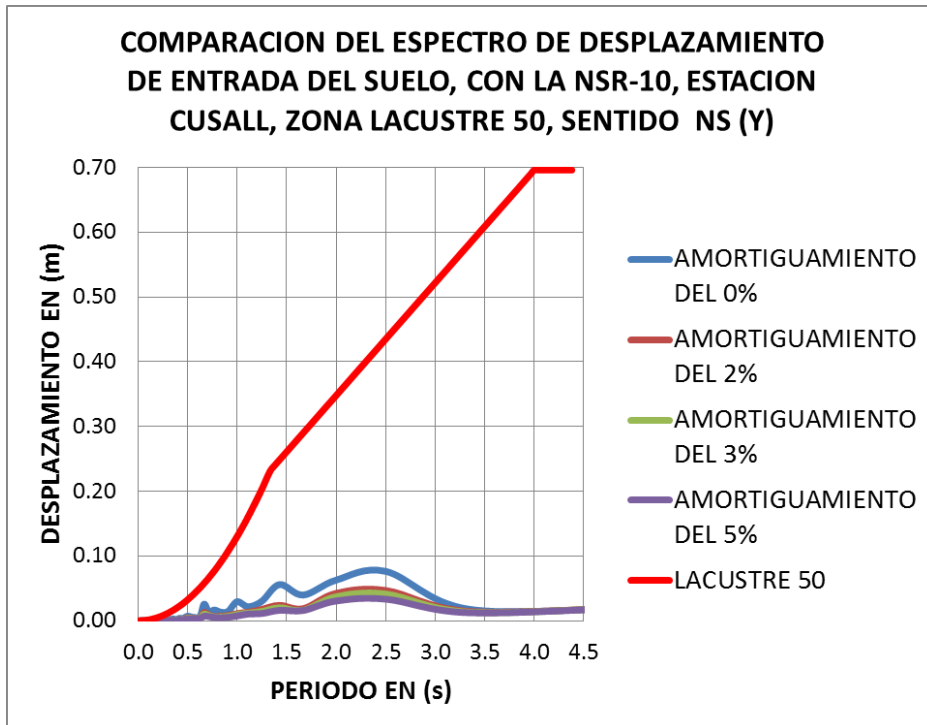


Fuente: Elaboración propia

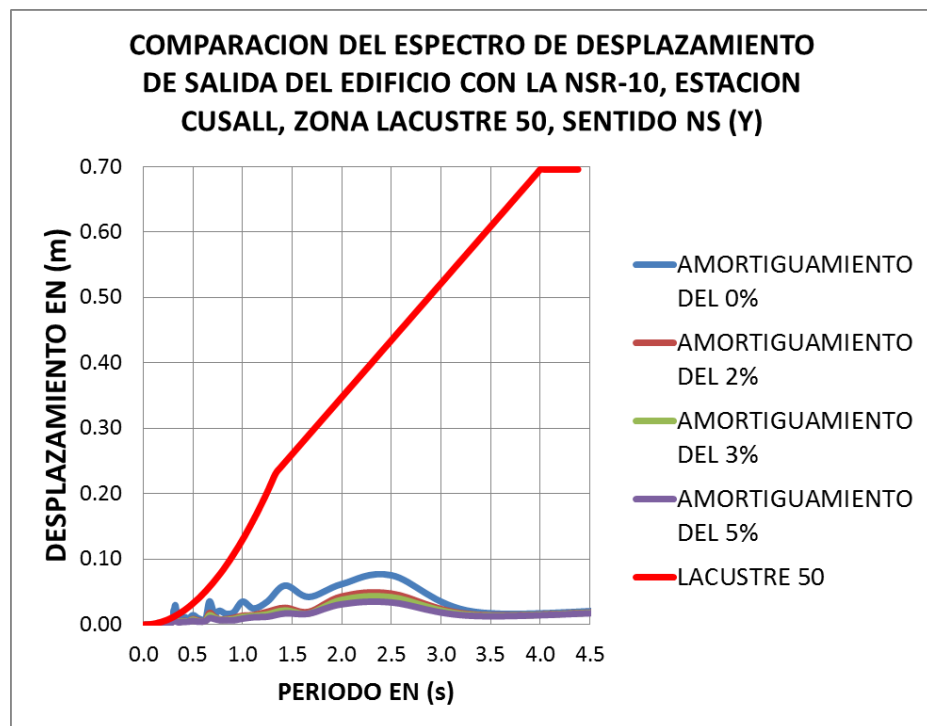
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CUSALL y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CUSALL y NSR-10, sentido NS:

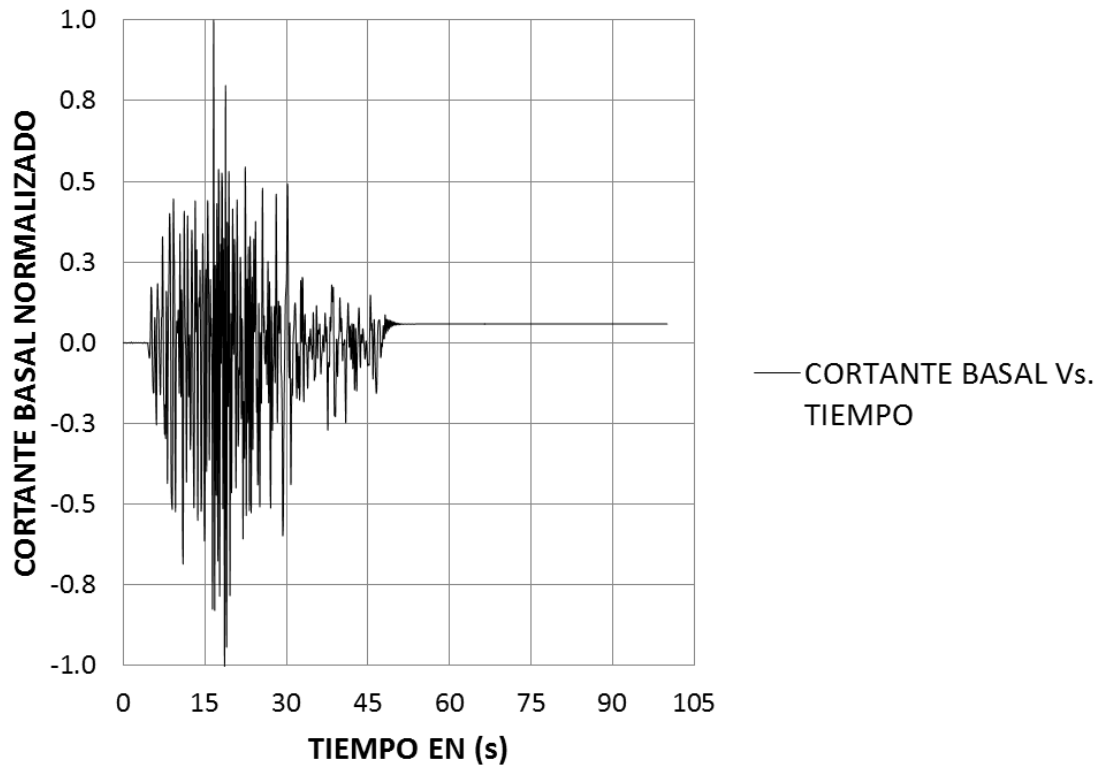


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA LACUSTRE 50

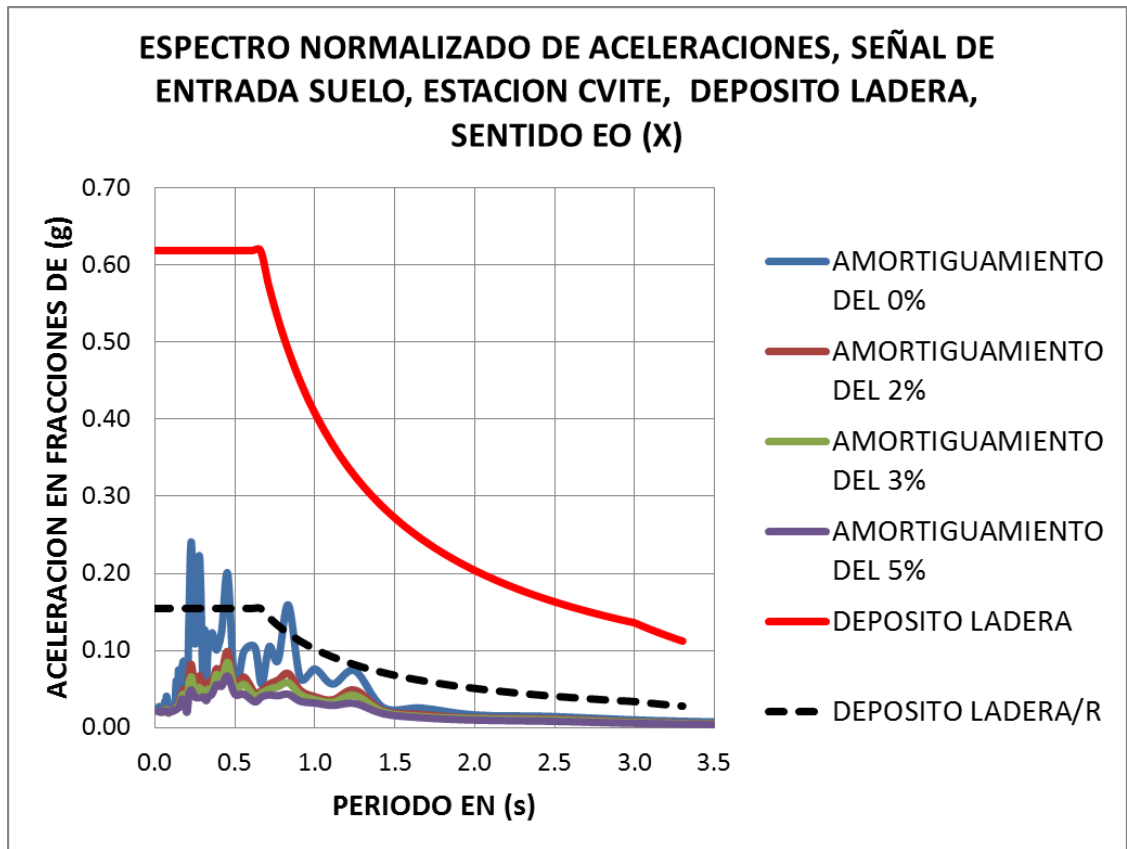


Fuente: Elaboración propia

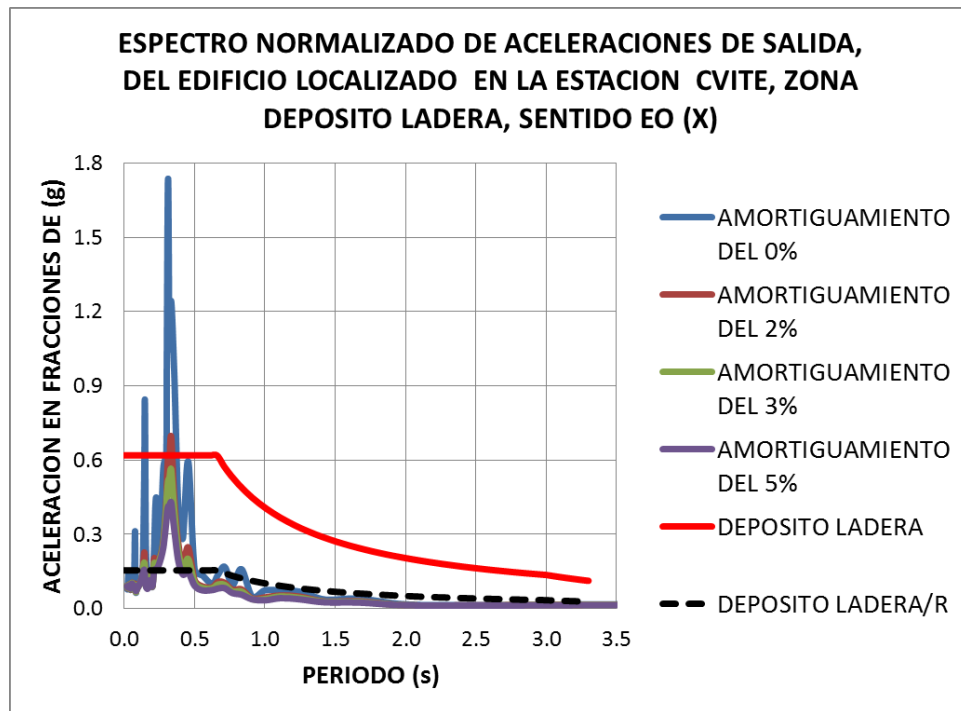
25) **Estación Tanques de Vitelma:** El código en la RAB es CVITE, ubicado en la Calle 9 Sur con Carrera 9 Este. La estación se localiza en la zona **DEPOSITO DE LADERA** de la **MZSB**. A continuación se presentan las gráficas espectrales en los sentidos EO y NS.

ESTACION CVITE, DEPÓSITO DE LADERA, SENTIDO EO (X):

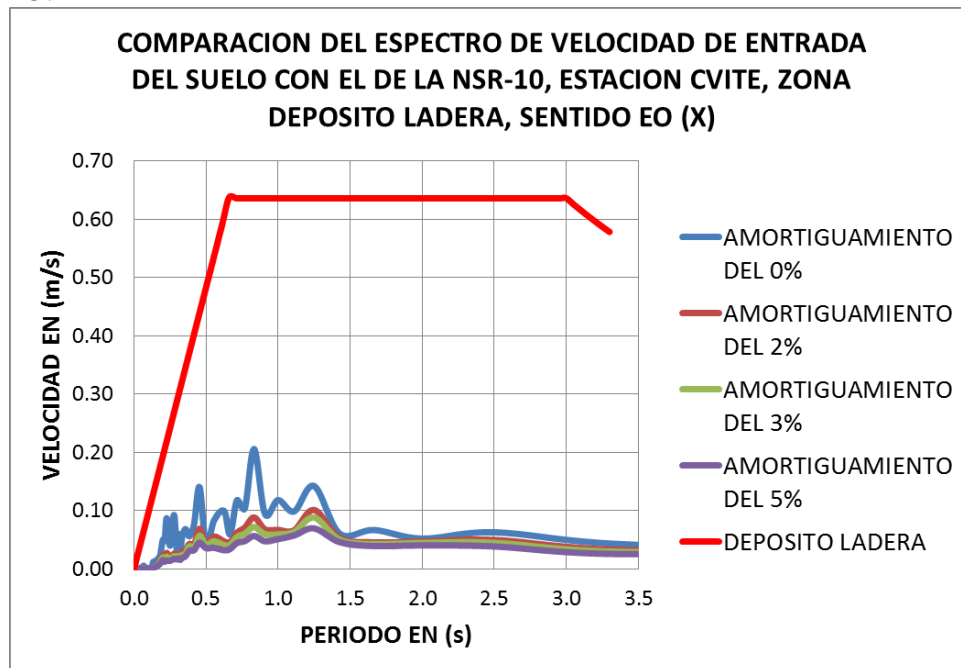
-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CVITE y NSR-10, sentido EO:

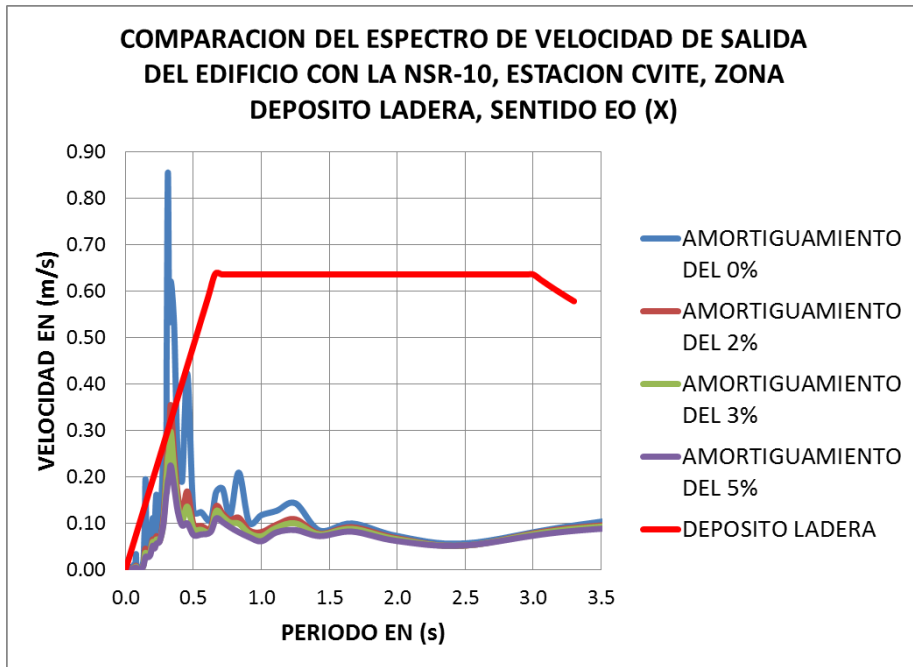


Fuente: Elaboración propia

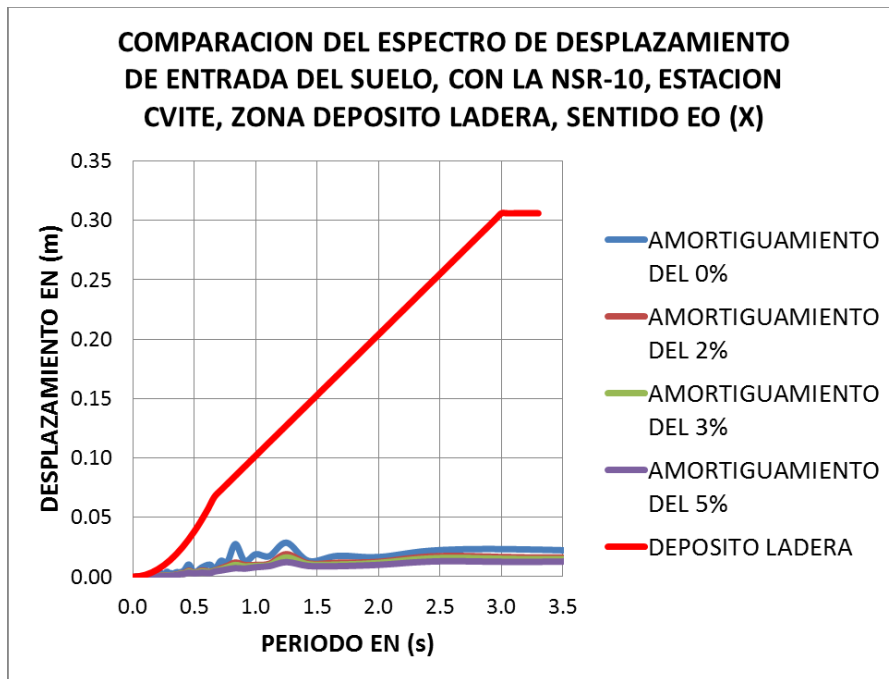


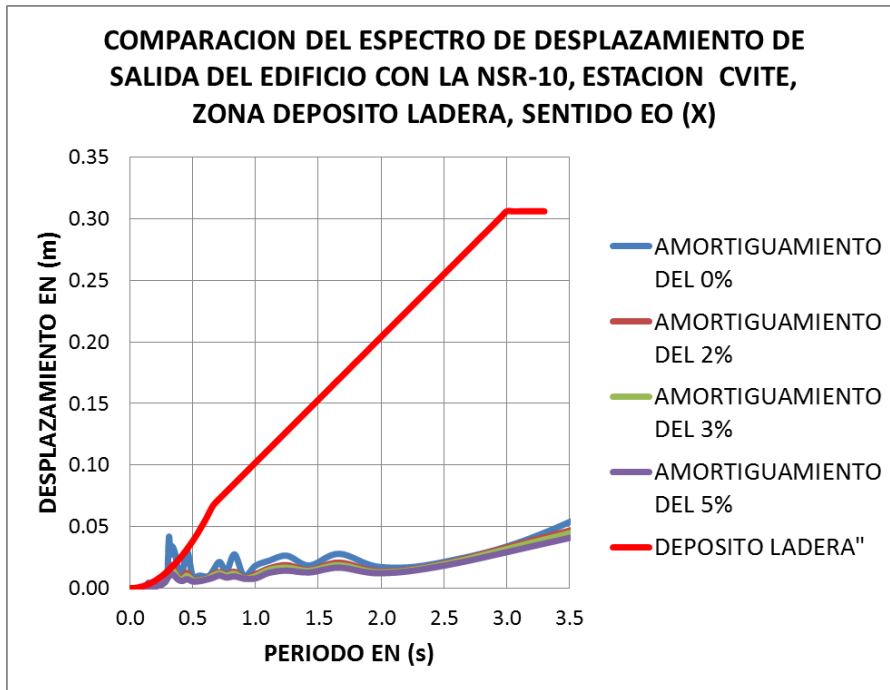
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CVITE y NSR-10, sentido EO:



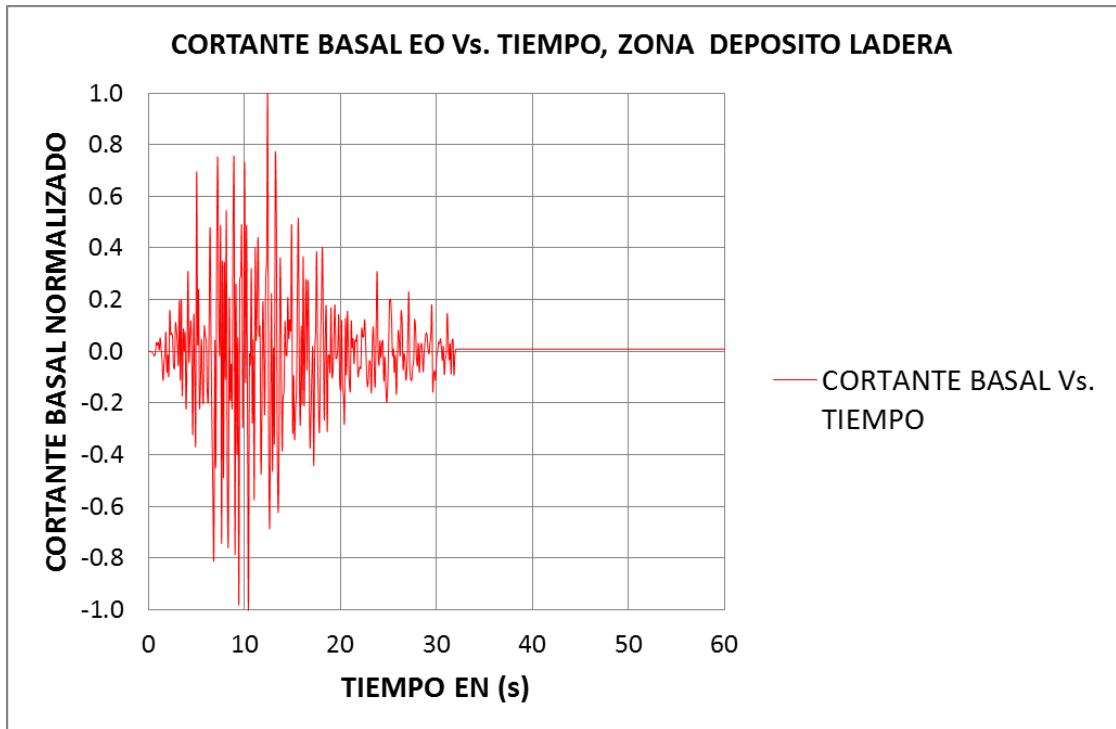


-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CVITE y NSR-10, sentido EO:





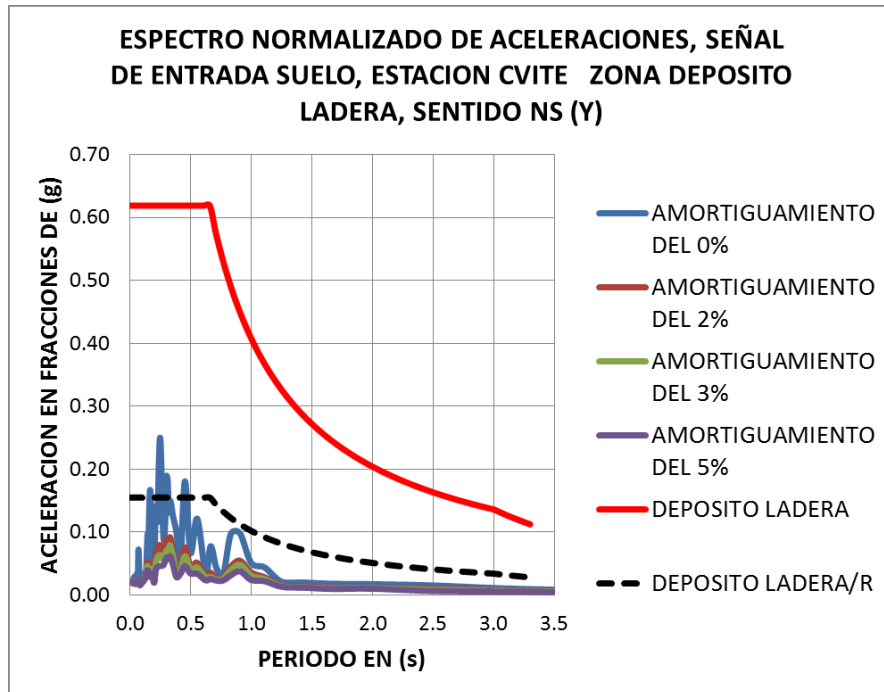
Fuente: Elaboración propia



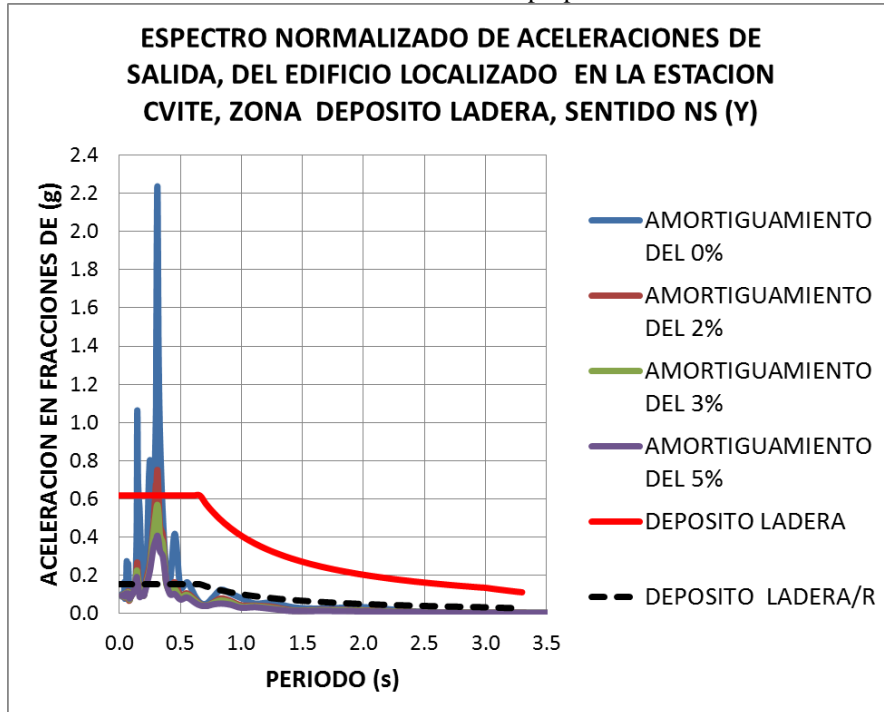
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CVITE, DEPÓSITO DE LADERA, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración de entrada suelo y salida edificio, estación CVITE y NSR-10, sentido NS:

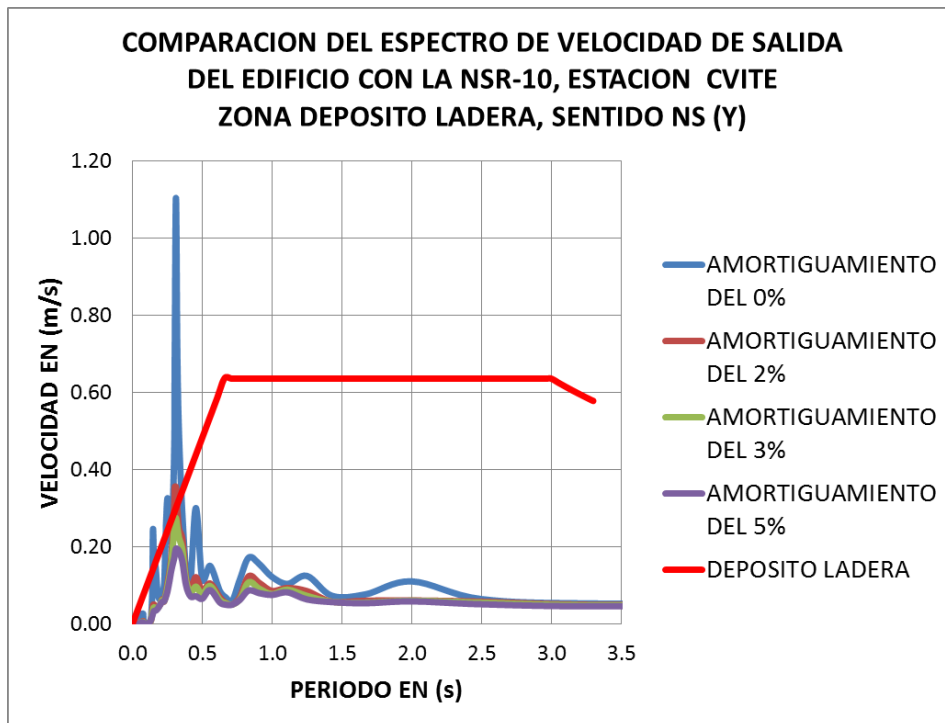
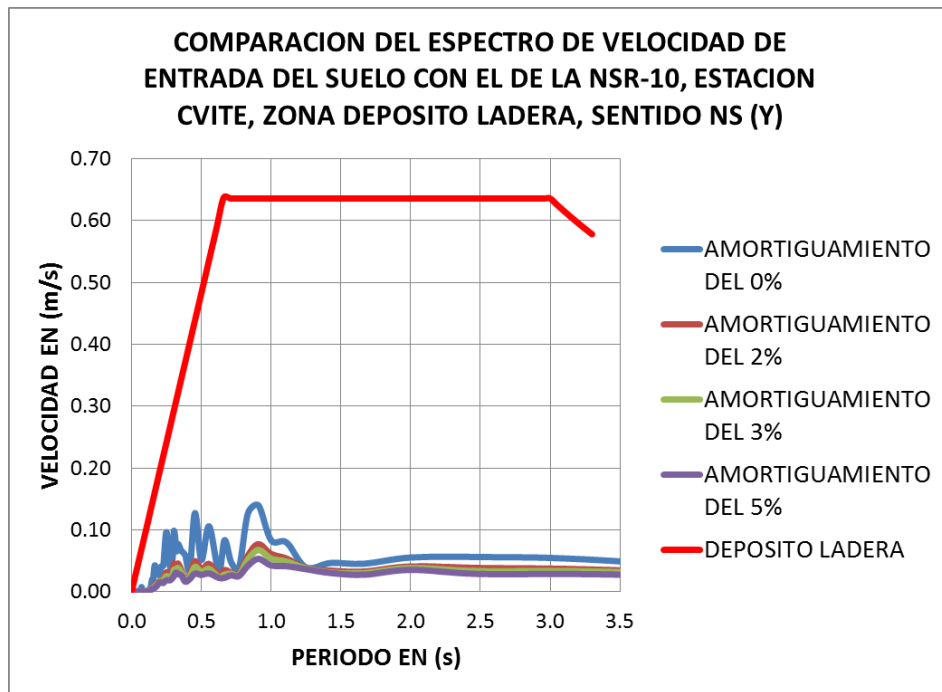


Fuente: Elaboración propia

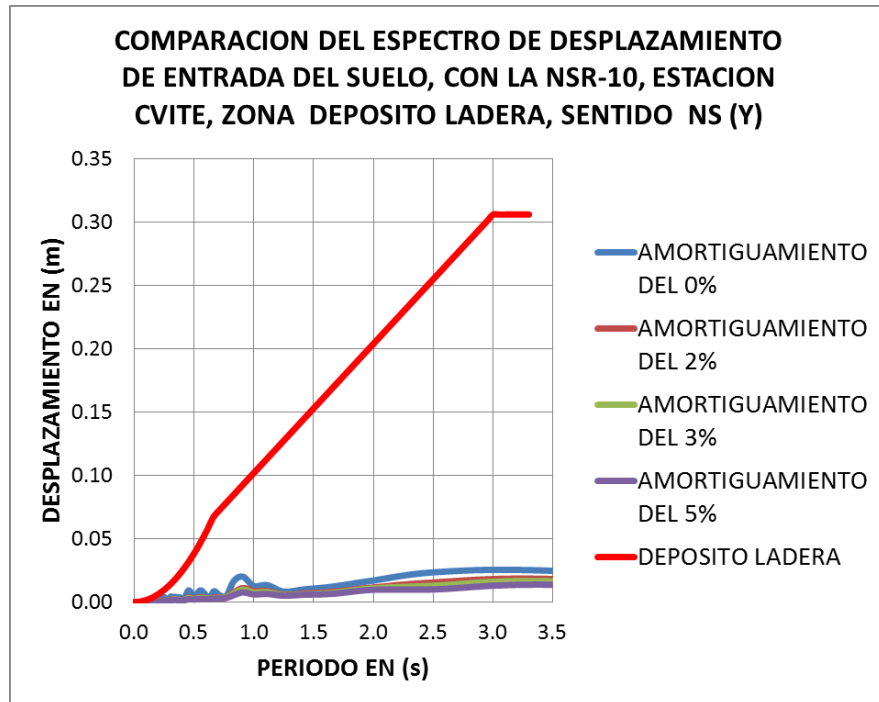


Fuente: Elaboración propia

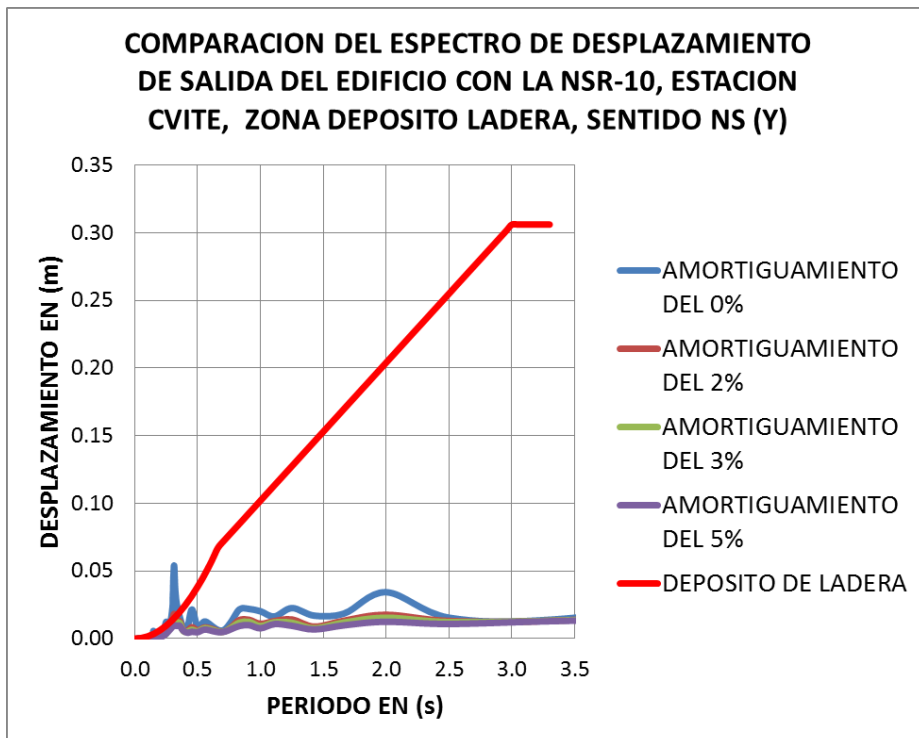
-Espectros de velocidad de entrada suelo y salida edificio, estación CVITE y NSR-10, sentido NS:



-Espectros de desplazamiento de entrada suelo y salida edificio, estación CVITE y NSR-10, sentido NS:

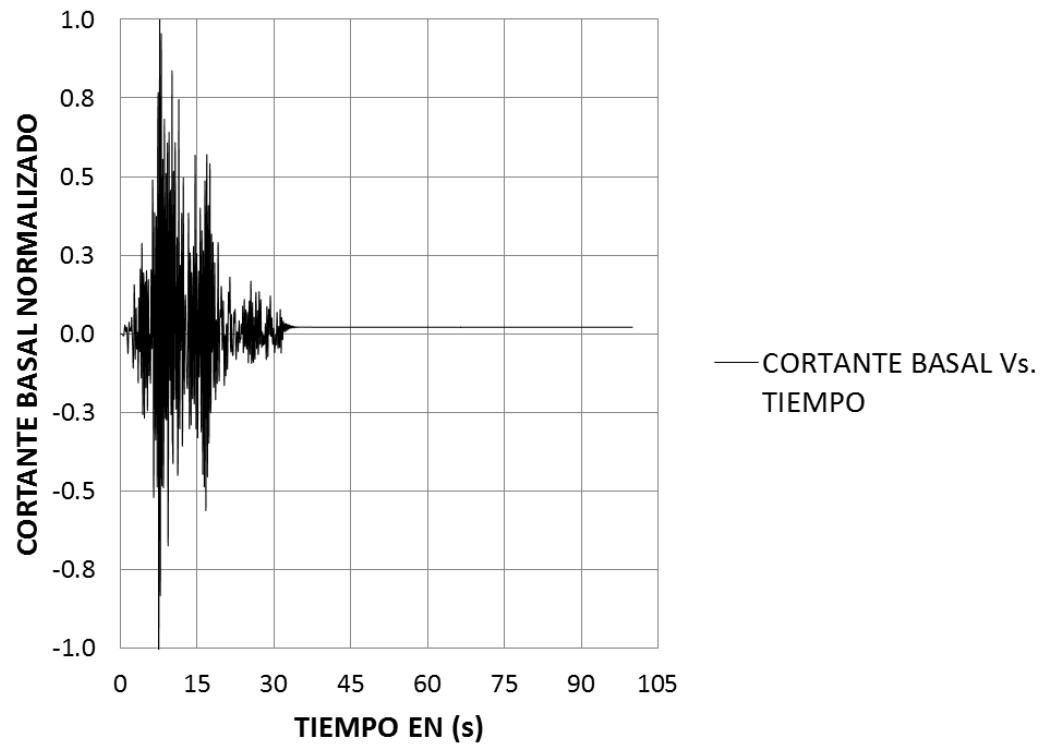


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

**CORTANTE BASAL NORMALIZADO NS Vs. TIEMPO, ZONA
DEPOSITO LADERA**



Fuente: Elaboración propia

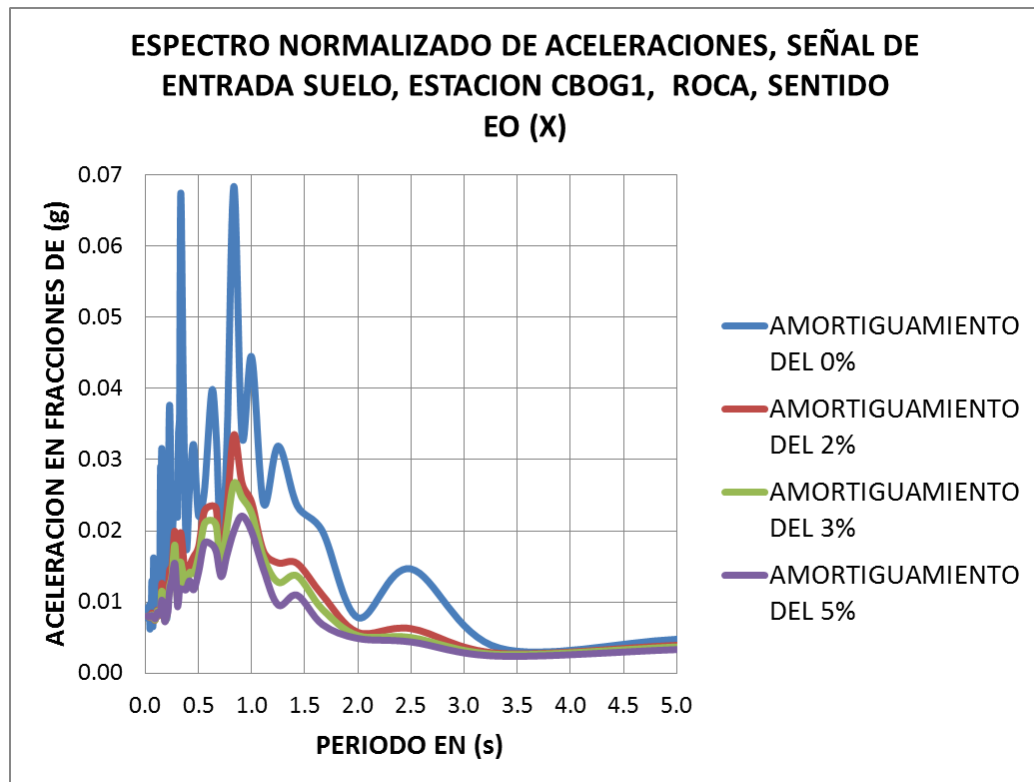
6.2 ESPECTROS EN ROCA EN LA SABANA DE BOGOTA

De todas las estaciones de la RAB, las únicas que registraron el evento de Quetame de 2008, cuyos registros Down Hole se han depurado y fueron suministrados por el FOPAE, son las estaciones CBOG1, CGRAL Y CUAGR, con sensores localizados a 180m, 100m y 130m respectivamente. (Procesamiento e Interpretación de señales de la Red de Acelerógrafos de Bogotá-RAB, DEPAE 2008)

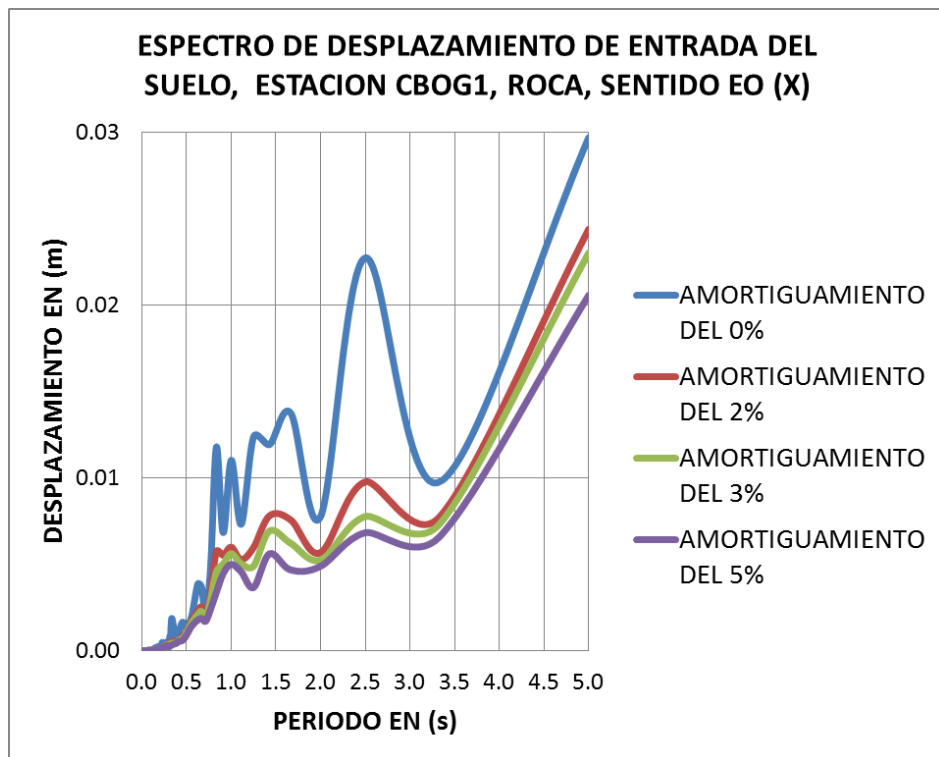
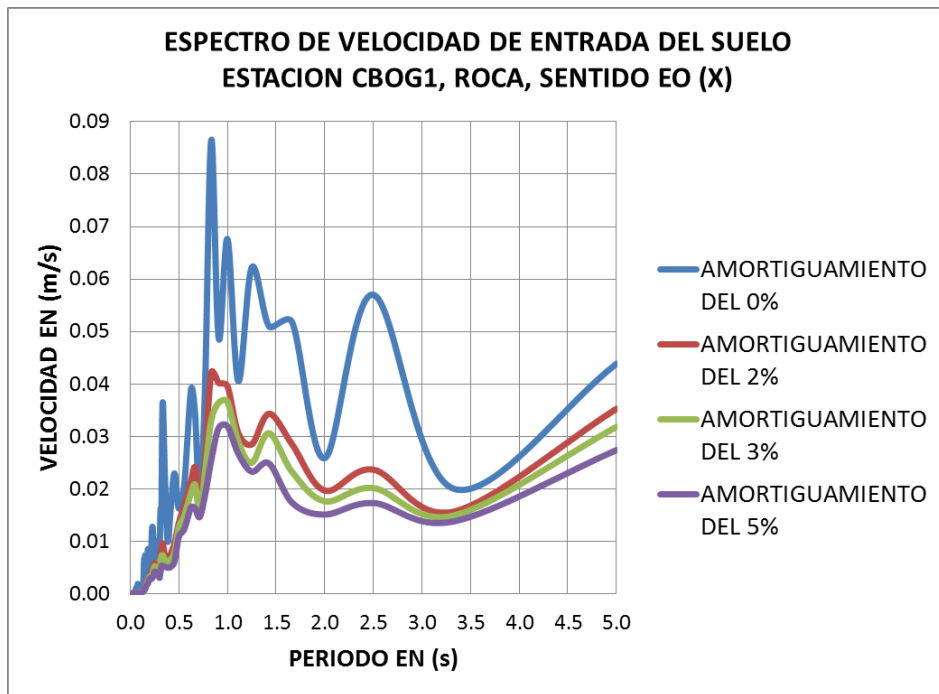
26) **Estación INGEOMINAS:** El código en la RAB es **CBOG1**, los espectros en ROCA se presentan a continuación mediante gráficas espectrales, en los sentidos EO y NS.

ESTACION CBOG1, REGISTRO EN ROCA, SENTIDO EO (X):

-Espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento, estación CBOG1, sentido EO:

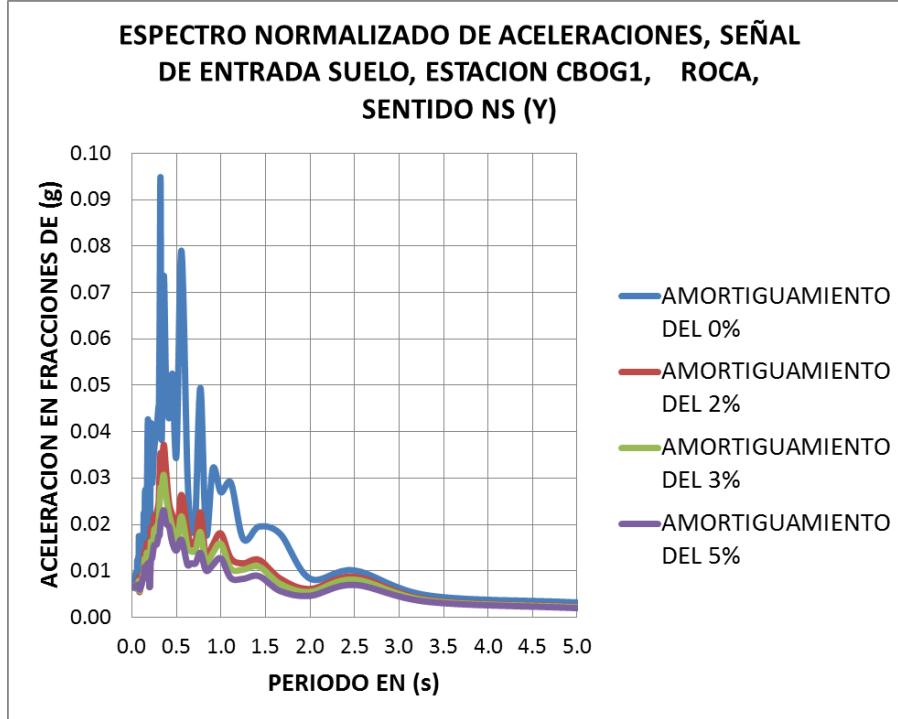


Fuente: Elaboración propia

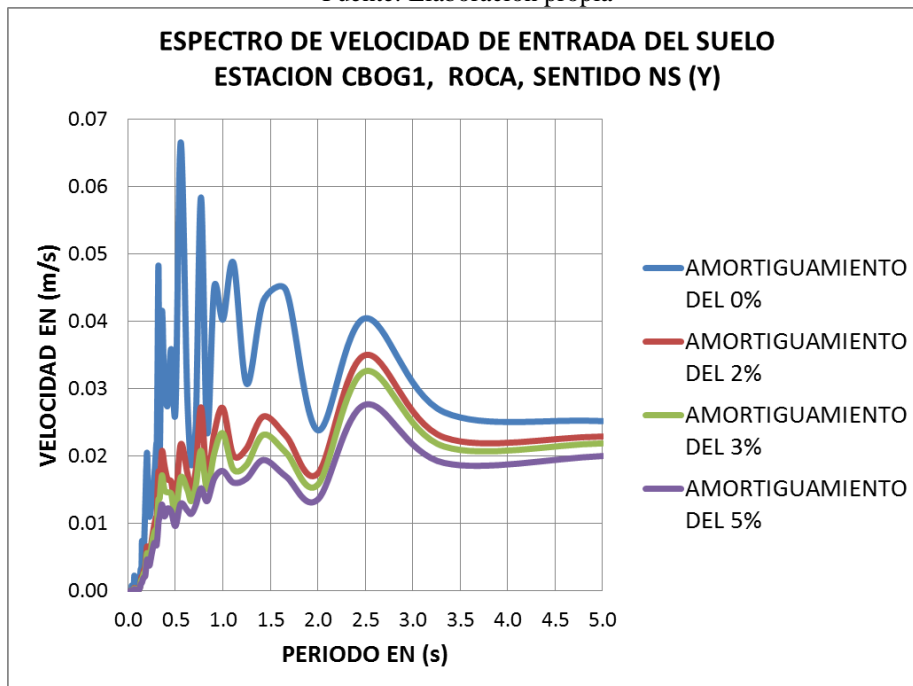


ESTACION CBOG1, REGISTRO EN ROCA, SENTIDO NS (Y):

-Espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento, estación CBOG1, sentido NS:

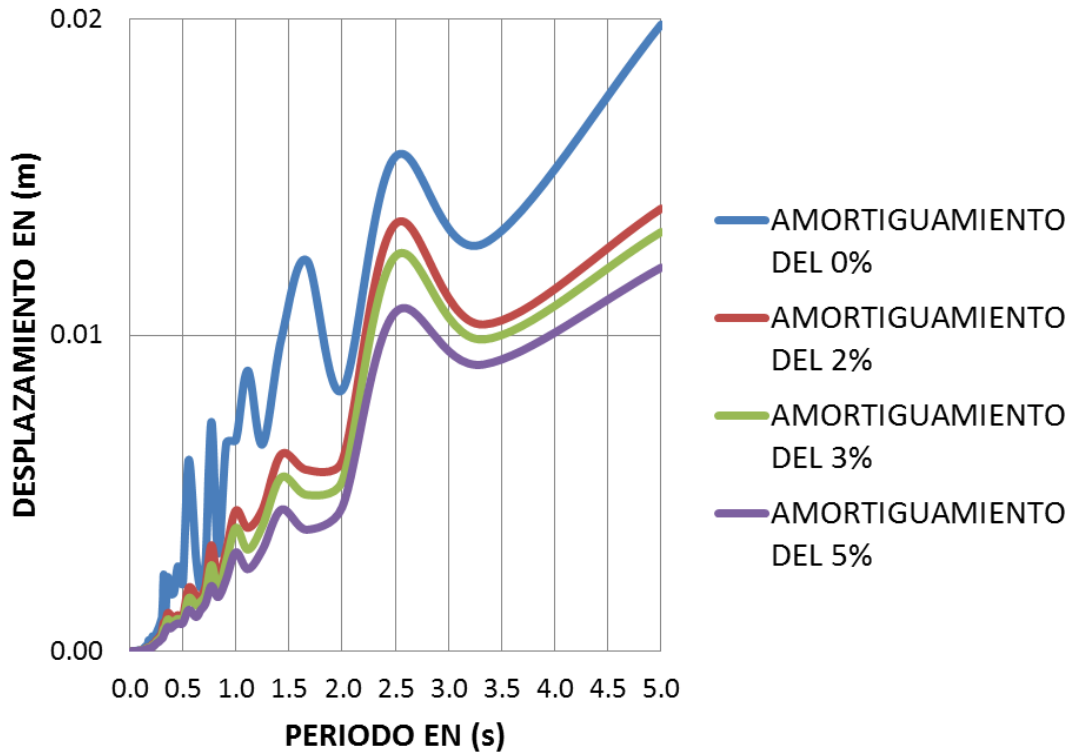


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTO DE ENTRADA DEL SUELO, ESTACION CBOG1, ROCA, SENTIDO NS (Y)

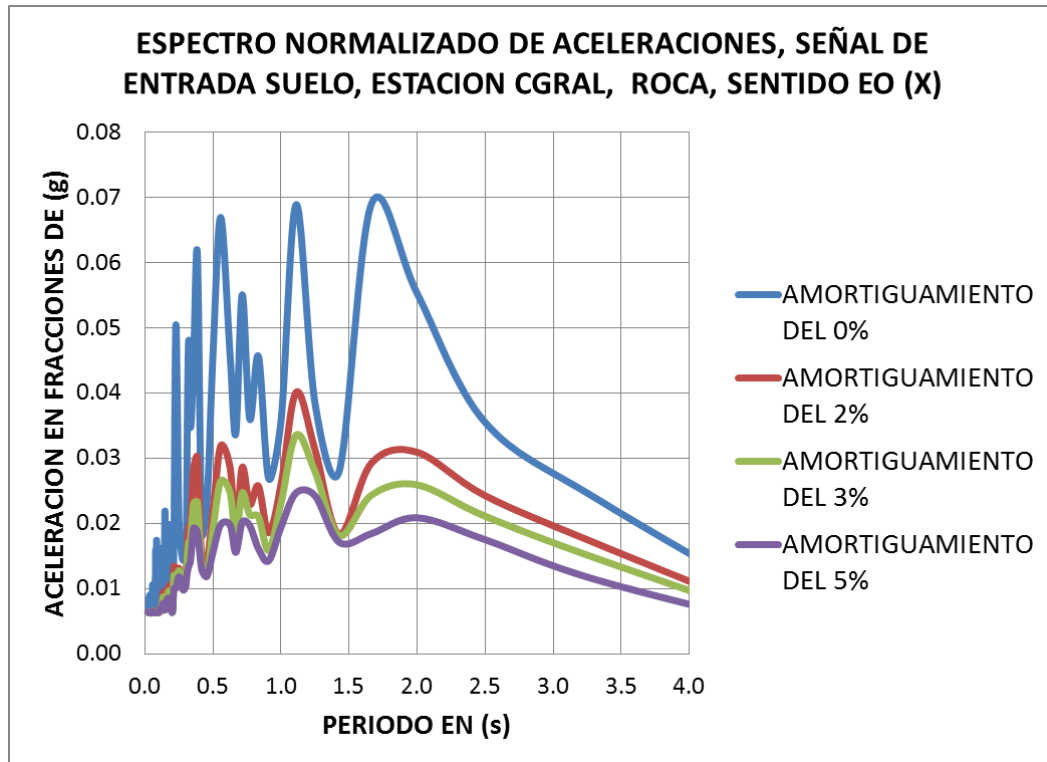


Fuente: Elaboración propia

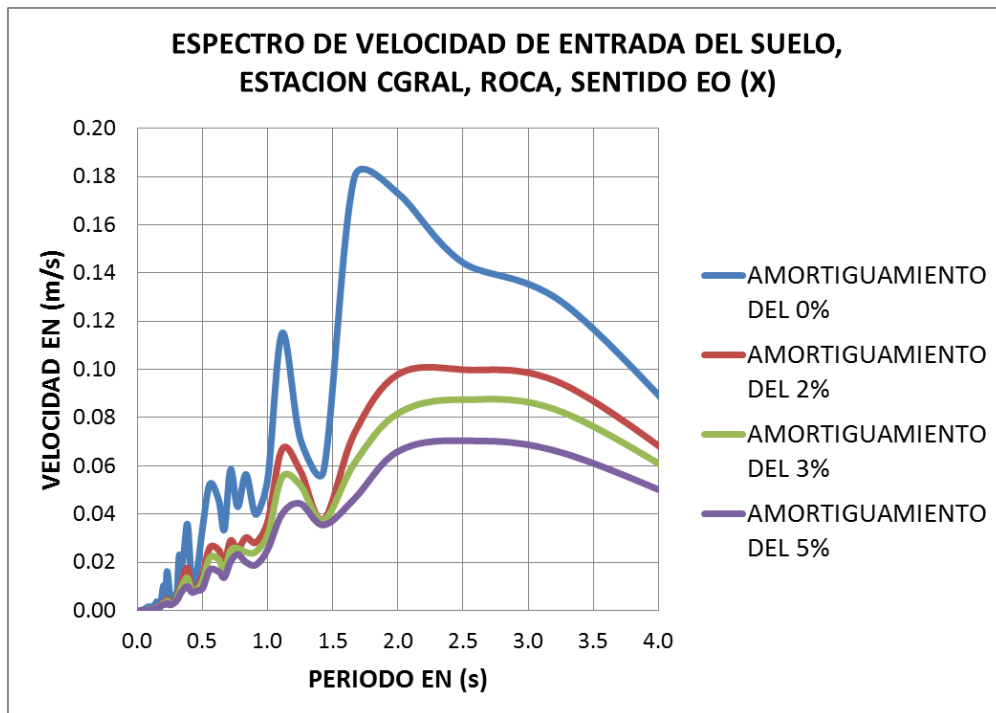
27) **Estación Escuela General Santander:** El código en la RAB es **CGRAL**, los espectros en ROCA se presentan a continuación mediante gráficas espectrales, en los sentidos EO y NS.

ESTACION CGRAL, REGISTRO EN ROCA, SENTIDO EO (X):

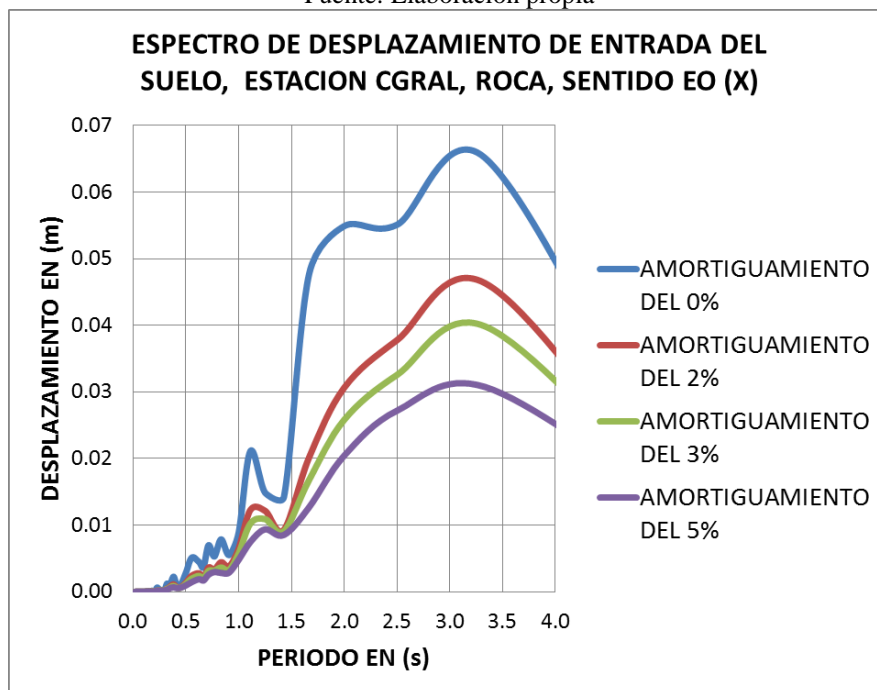
-Espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento, estación CGRAL, sentido EO:



Fuente: Elaboración propia



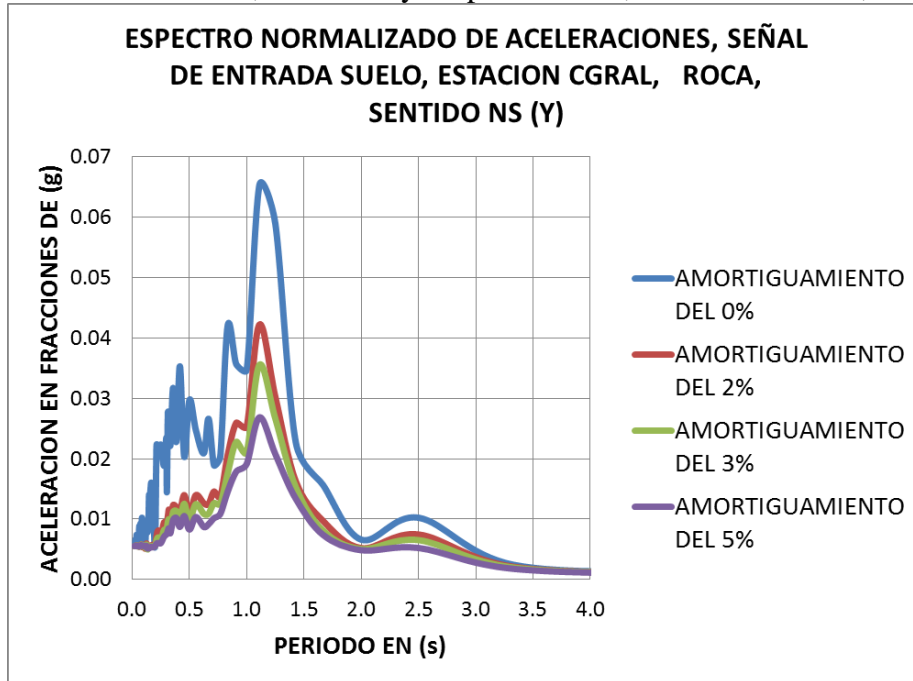
Fuente: Elaboración propia



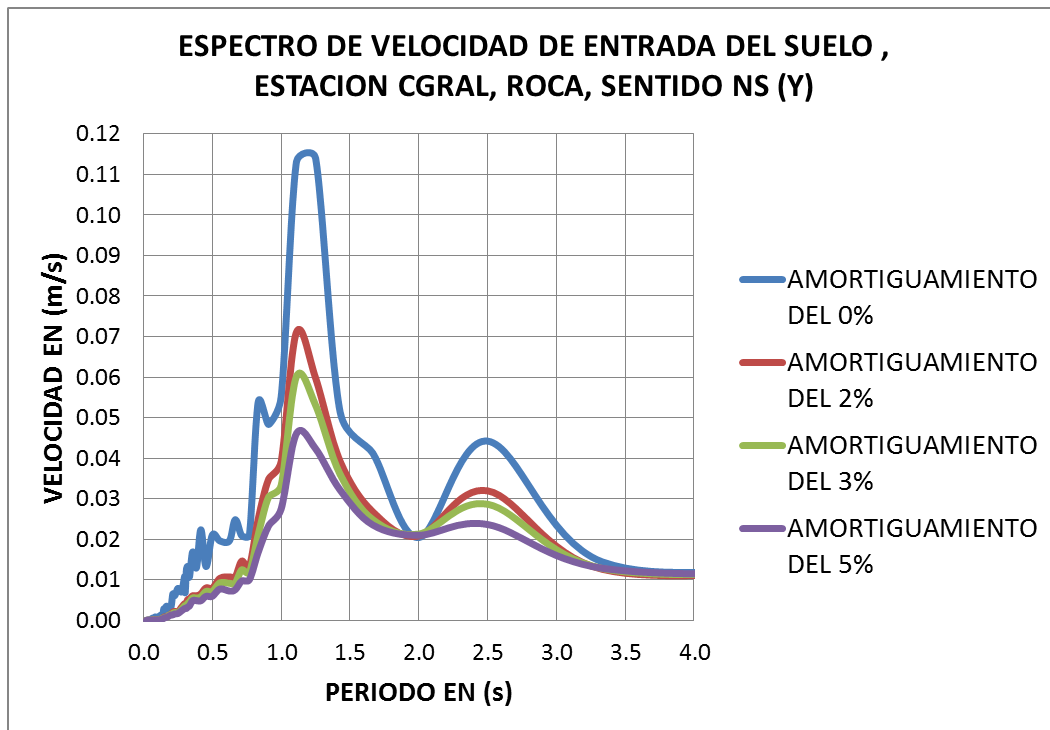
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CGRAL, REGISTRO EN ROCA, SENTIDO NS (Y):

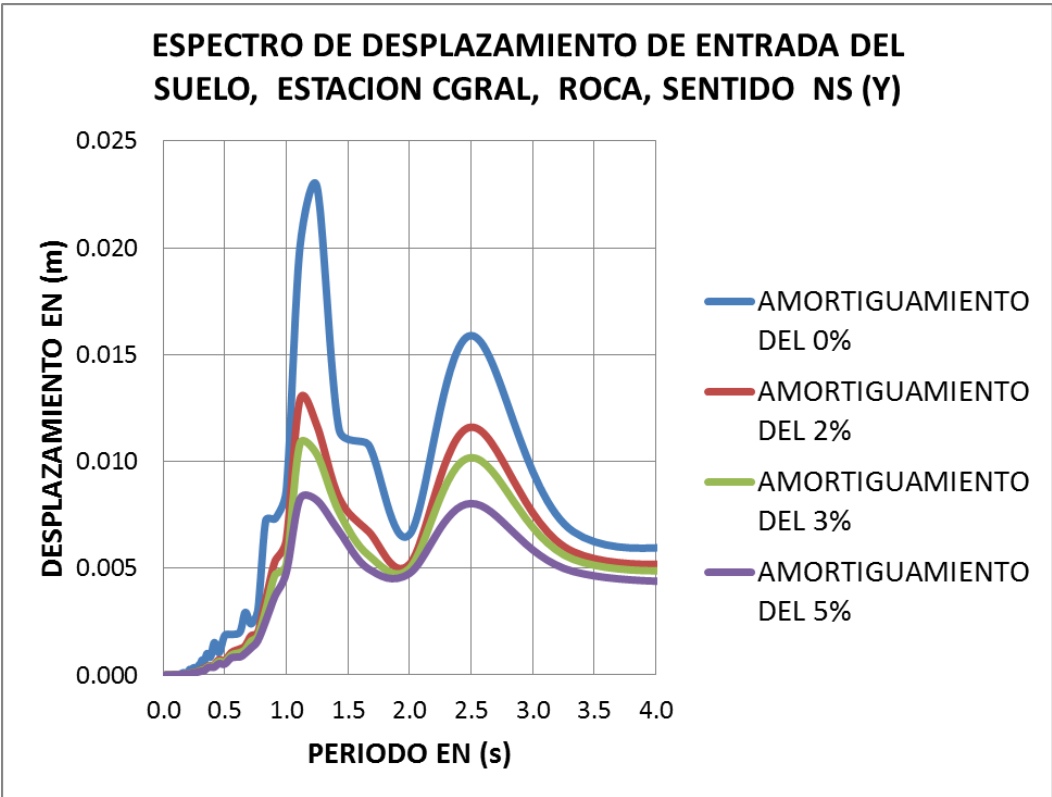
-Espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento, estación CGRAL, sentido EO:



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

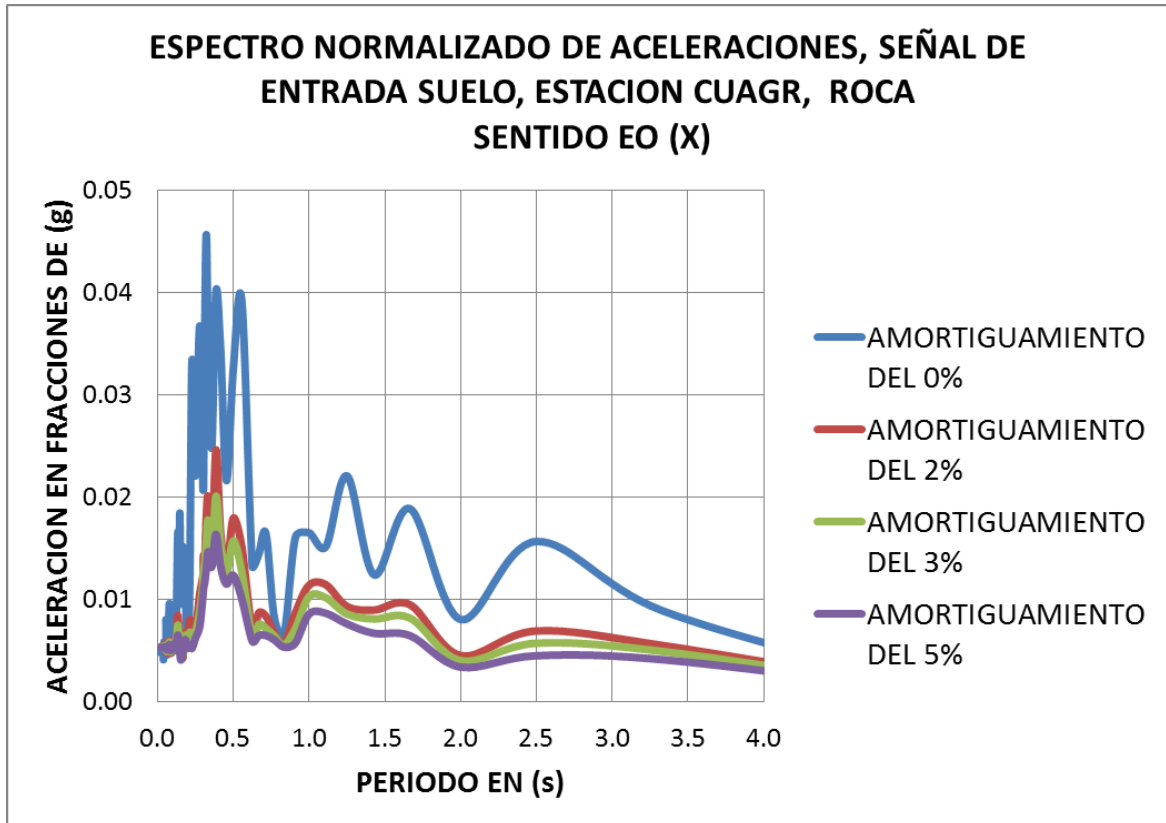


Fuente: Elaboración propia

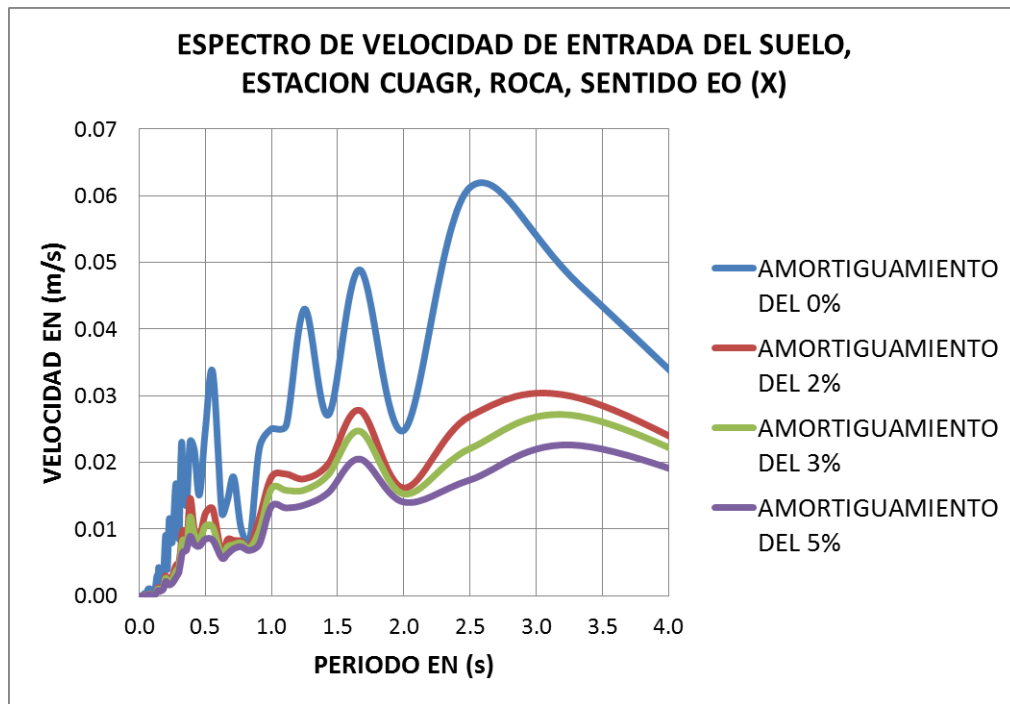
- 28) Estación Universidad Agraria: El código en la RAB es **CUAGR**, los espectros en ROCA se presentan a continuación mediante gráficas espectrales, en los sentidos EO y NS.

ESTACION CUAGR, REGISTRO EN ROCA, SENTIDO EO (X):

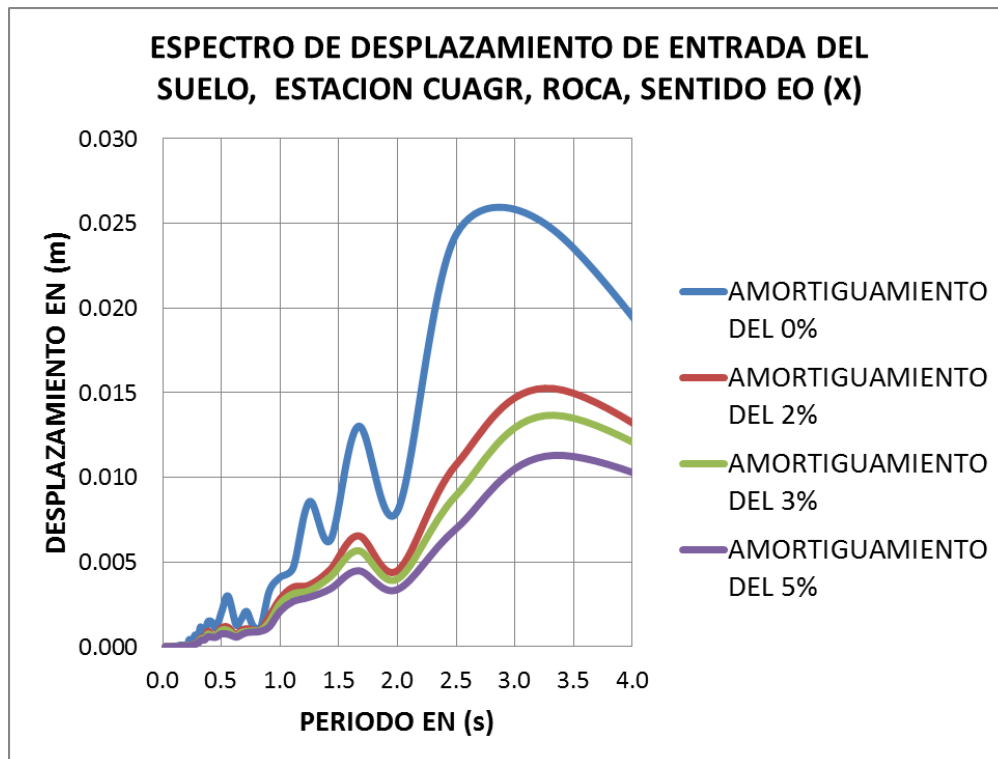
-Espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento, estación CUAGR, sentido EO:



Fuente: Elaboración propia



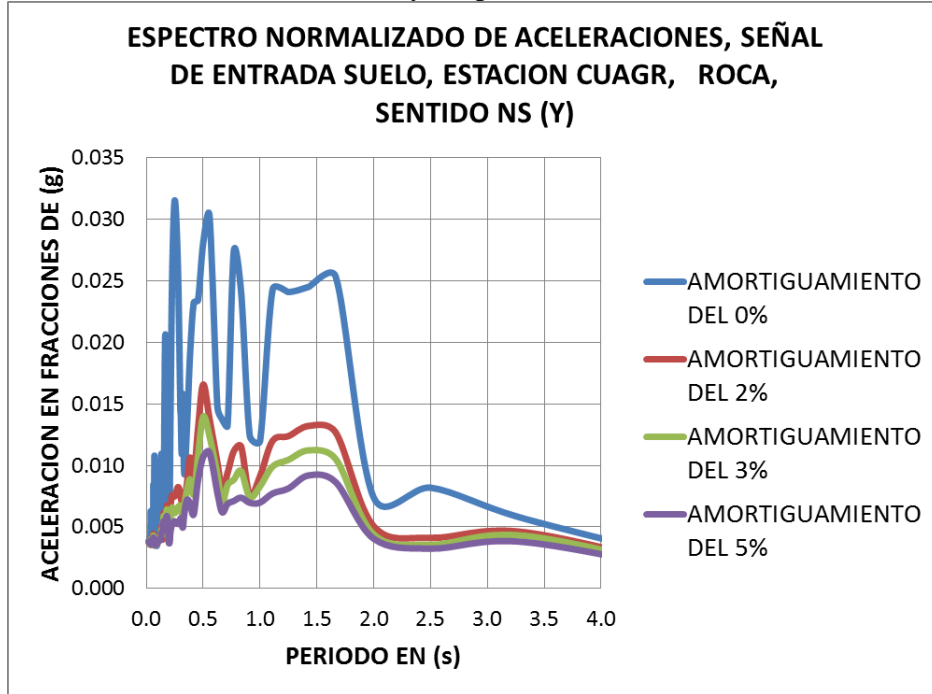
Fuente: Elaboración propia



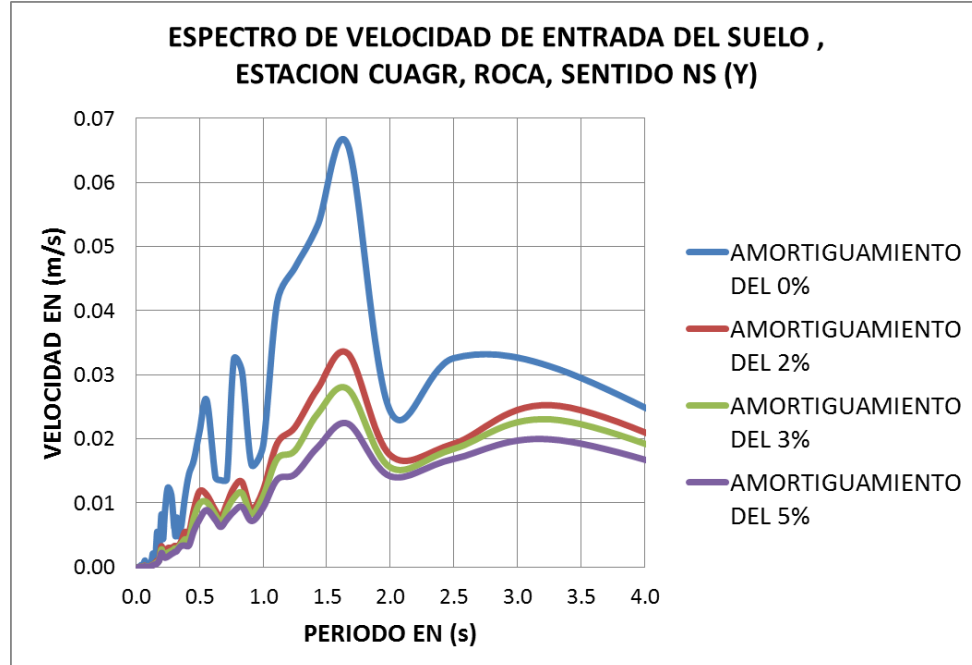
Fuente: Elaboración propia

ESTACION CUAGR, REGISTRO EN ROCA, SENTIDO NS (Y):

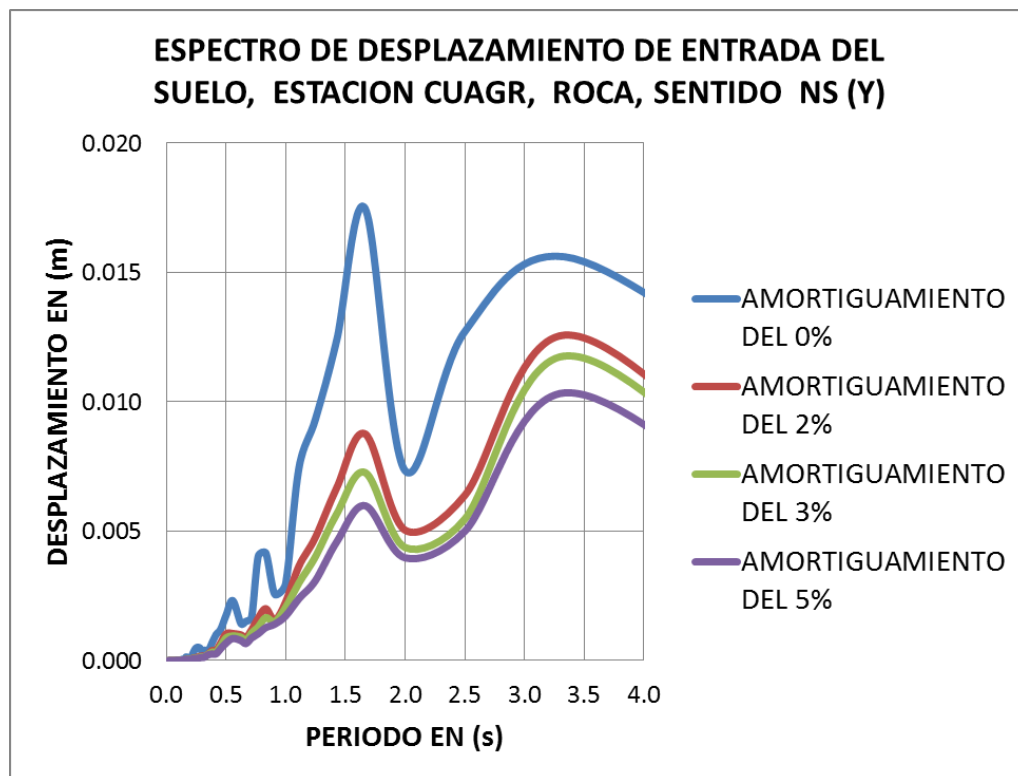
-Espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento, estación CUAGR, sentido NS:



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



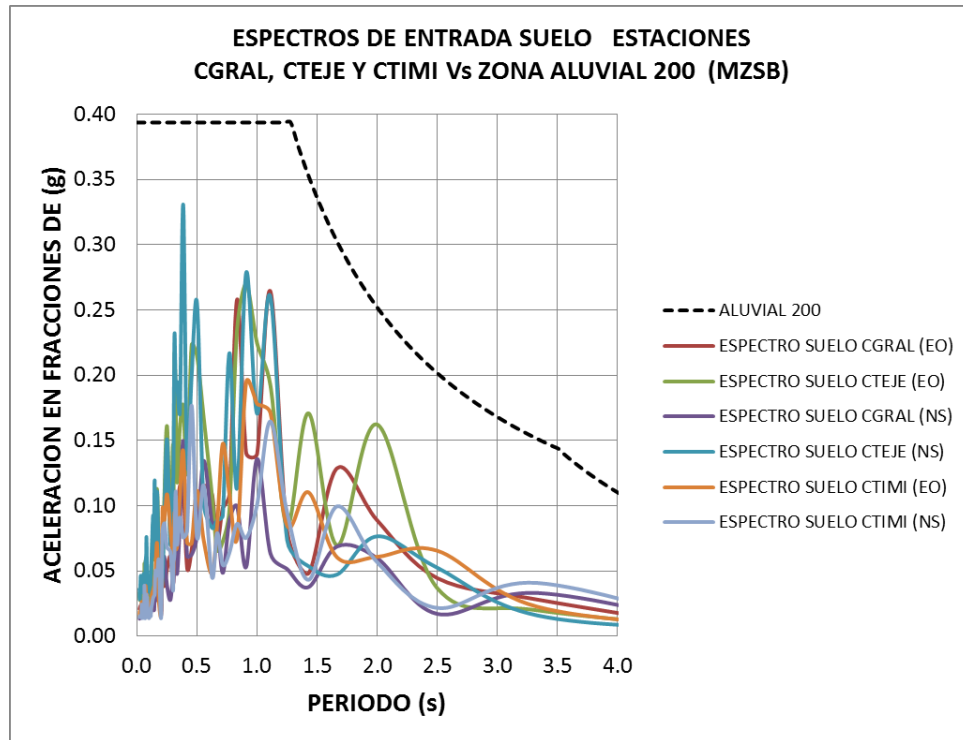
6.3 COMPARACION DE ESPECTROS PARA CADA UNA DE LAS ZONAS DE MICROZONIFICACION SISMICA DE BOGOTA

Debido a que varias de las estaciones están localizadas en la misma zona de microzonificación, se presenta a continuación el resumen por zonas, con el objeto de verificar si los espectros hallados están contenidos en los espectros por zonas de la microzonificación sísmica de Bogotá.

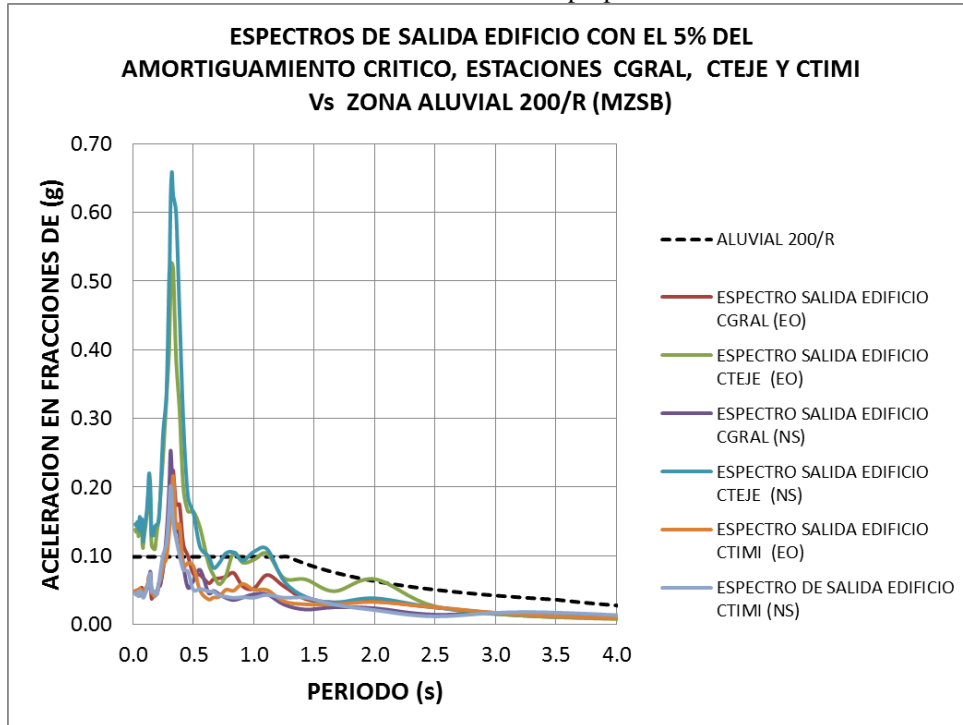
RESUMEN POR ZONAS DE MZSB										
LACUS. 500	LACUS. 50	DEP. LADERA	LACUS. 200	ALU. 100	LACUS. ALU. 300	ALU. 300	LACUS. 300	CERROS	ALU.L 200	ROCA
CAVIA	CBANC	CBART	CBOG1	CBOSA	CCITE	CCKEN	CCORP	CESCA	CGRAL	CBOG1
CTIEM	CUSALL	CBOG2	CEING	CTUNA		CFONT	CNIÑO	CSMOR	CTEJE	CGRAL
		CMARI	CUAGR				CREAC	CTVCA	CTIMI	CUAGR
		CUNMA								
		CVITE								

Fuente: Elaboración propia

6.3.1 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA ALUVIAL 200

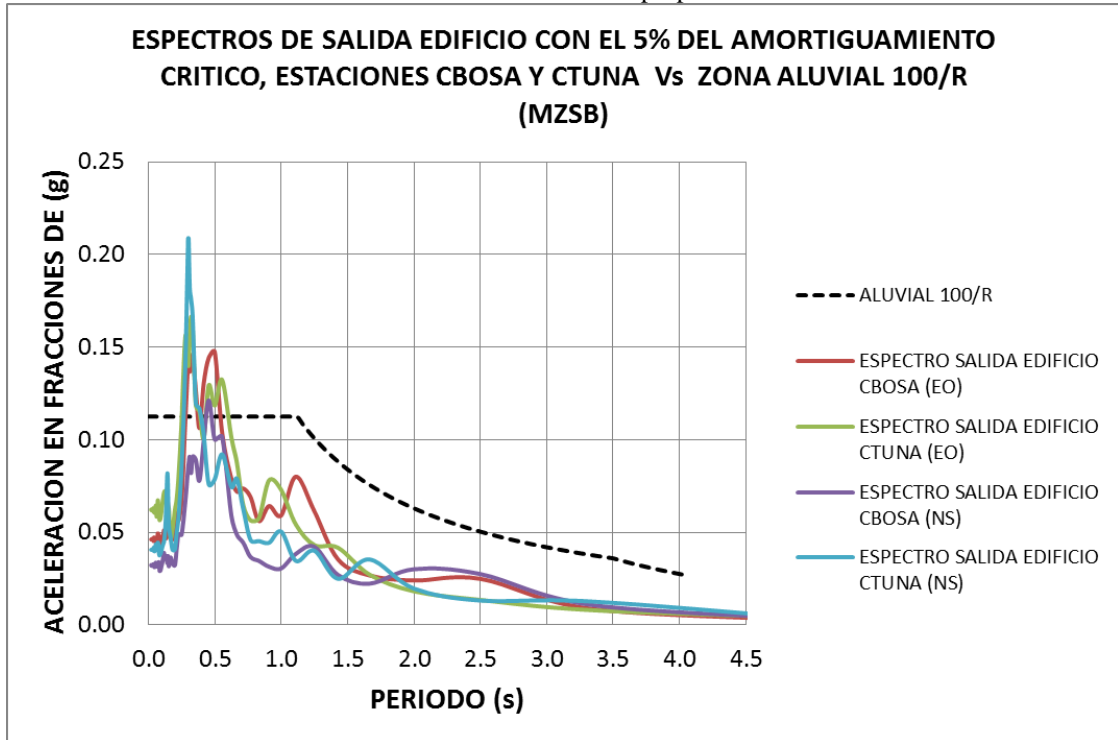
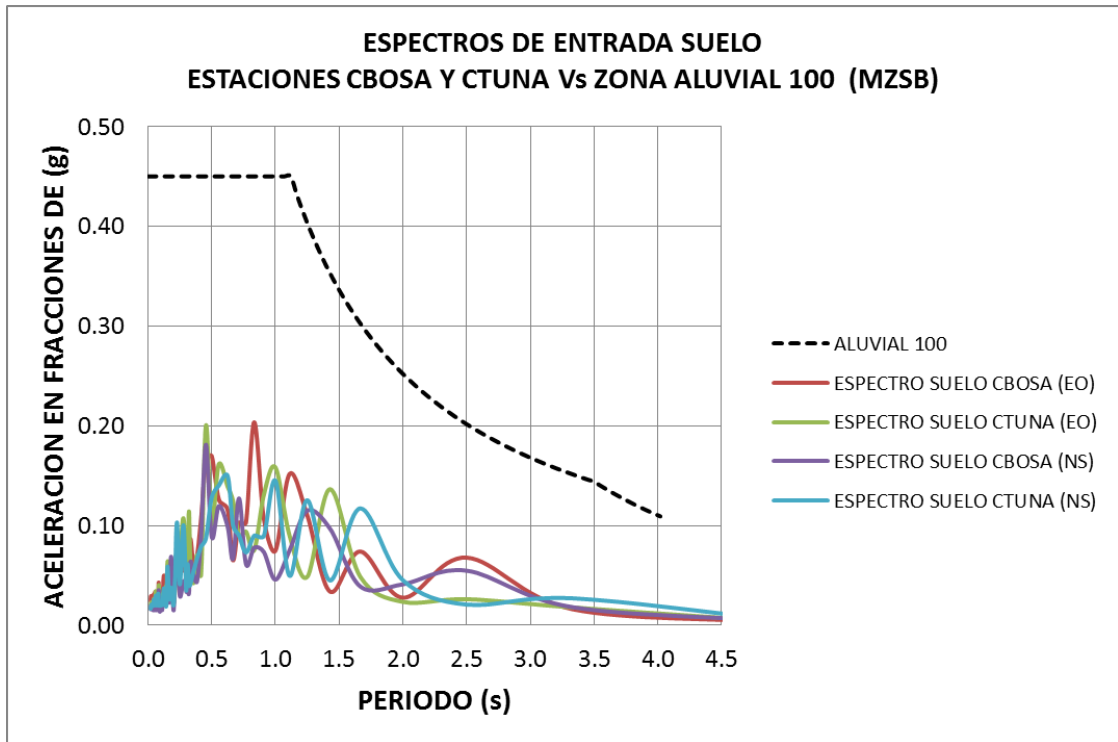


Fuente: Elaboración propia

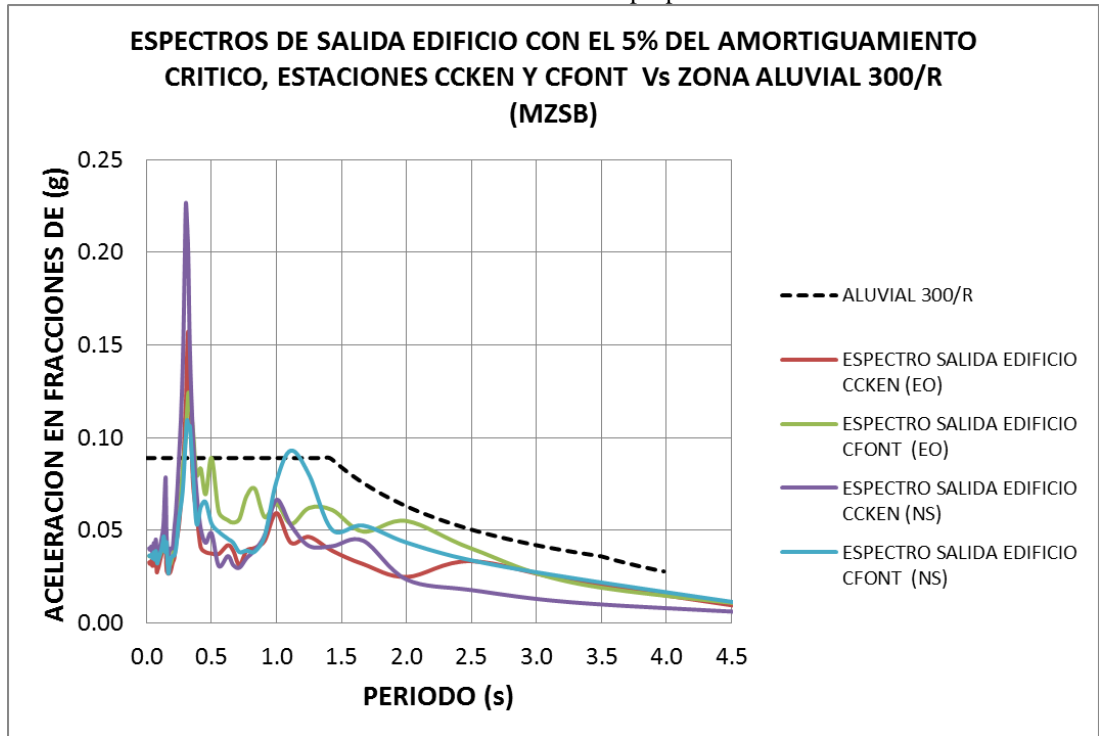
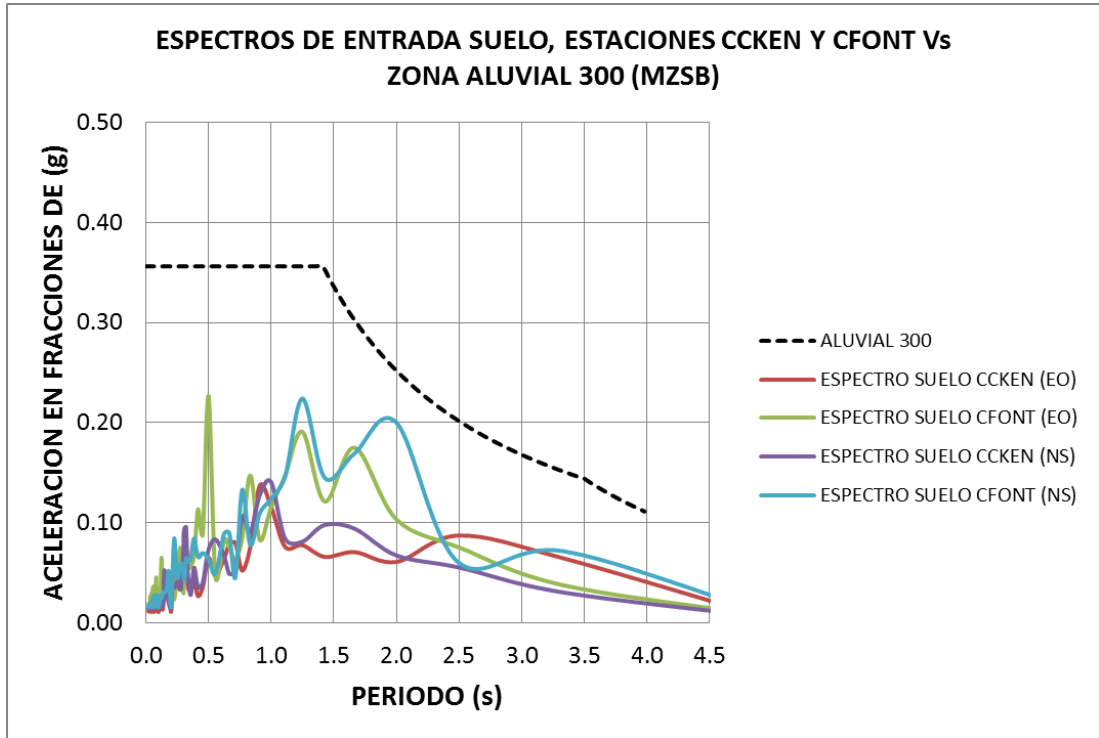


Fuente: Elaboración propia

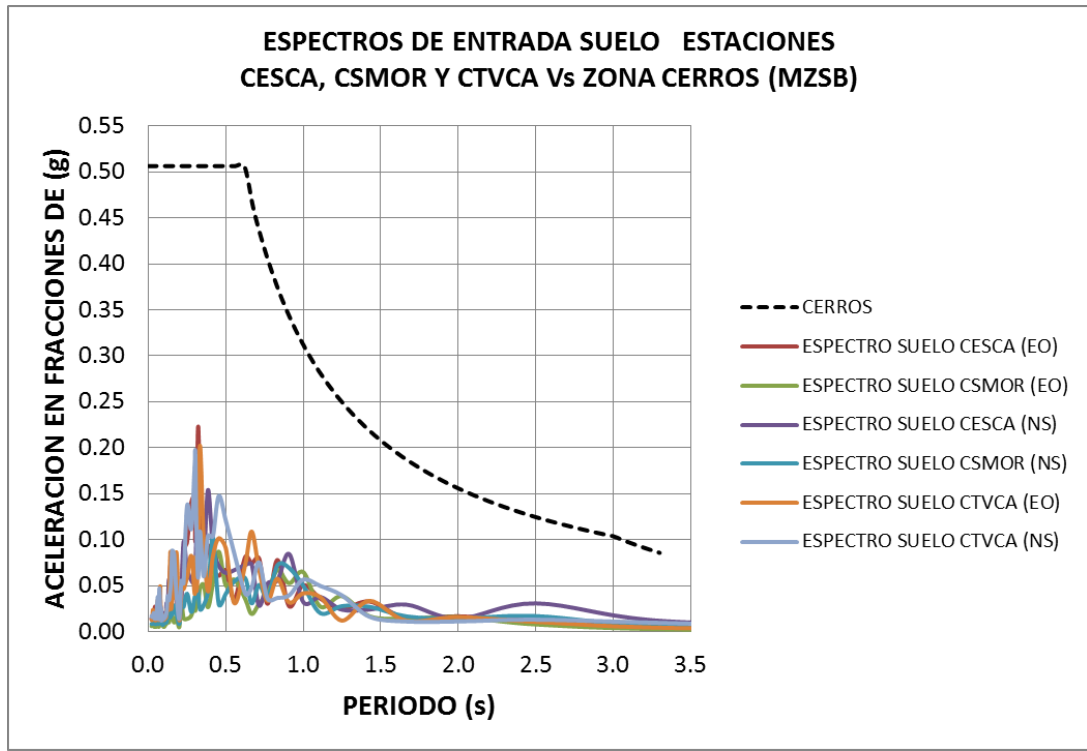
6.3.2 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA ALUVIAL 100



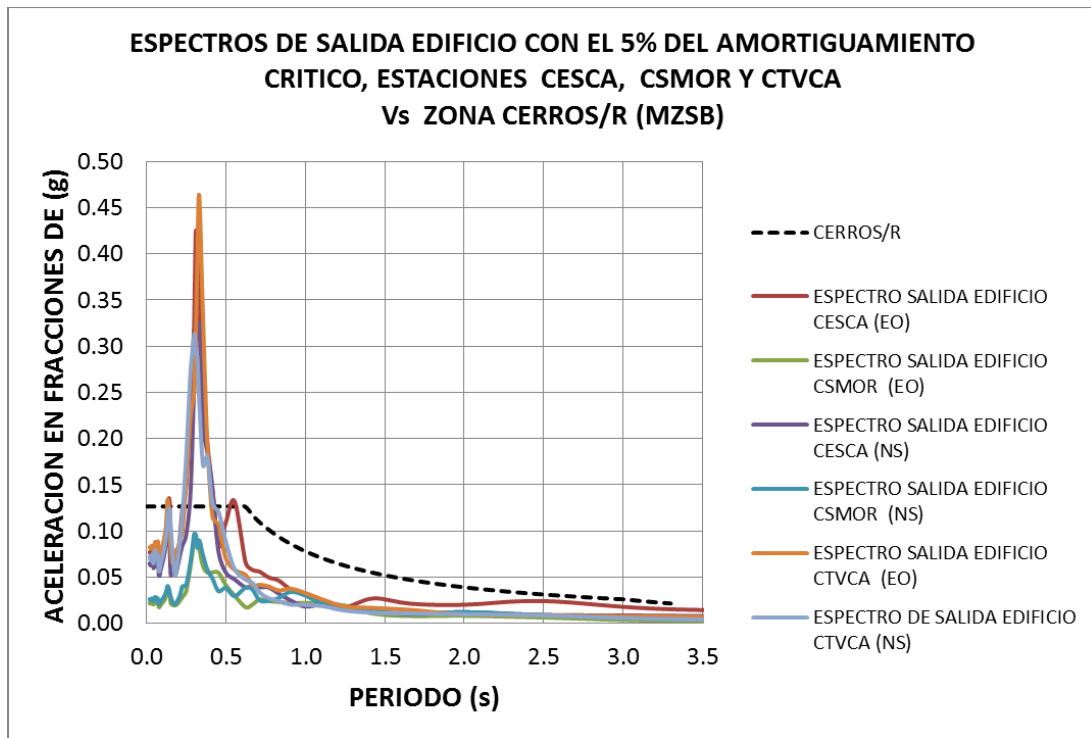
6.3.3 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA ALUVIAL 300



6.3.4 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA CERROS

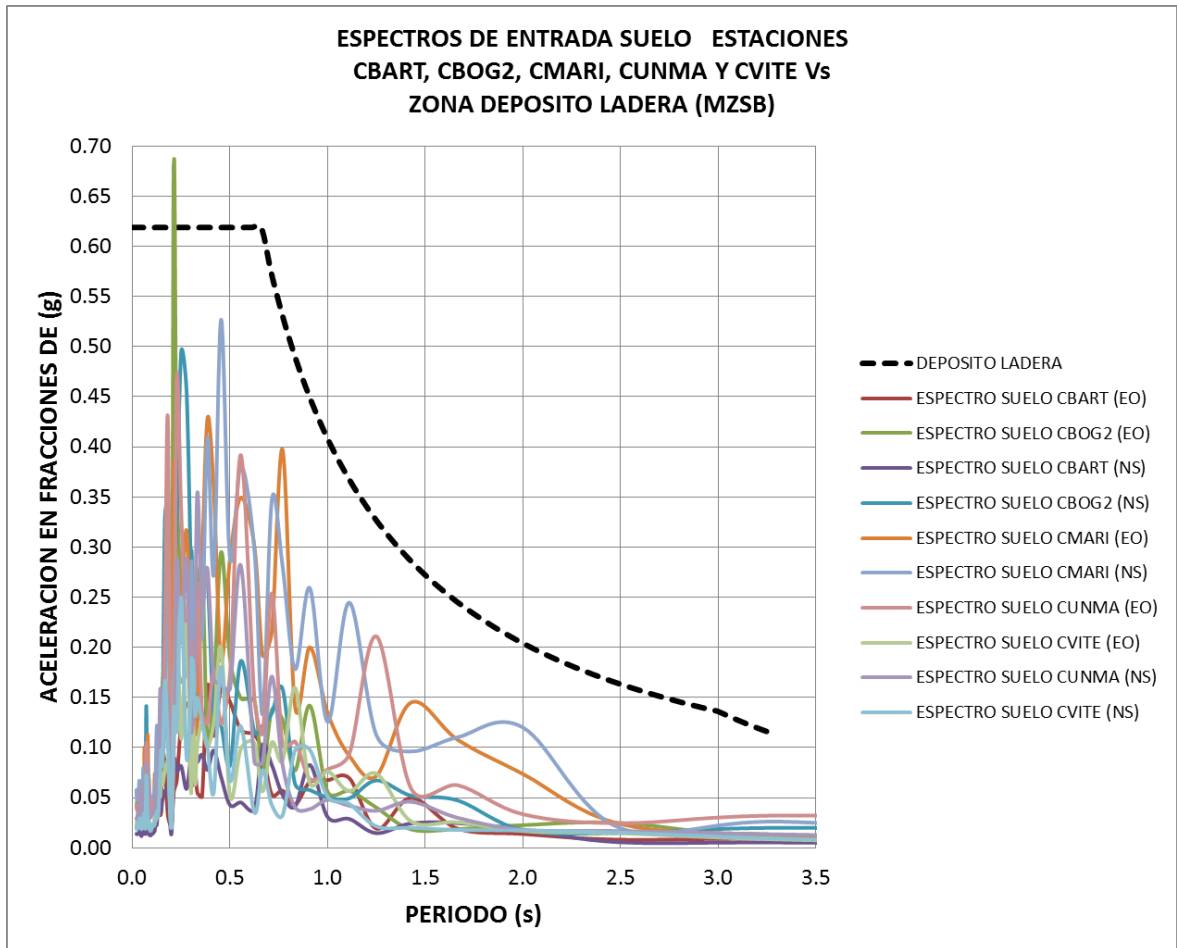


Fuente: Elaboración propia



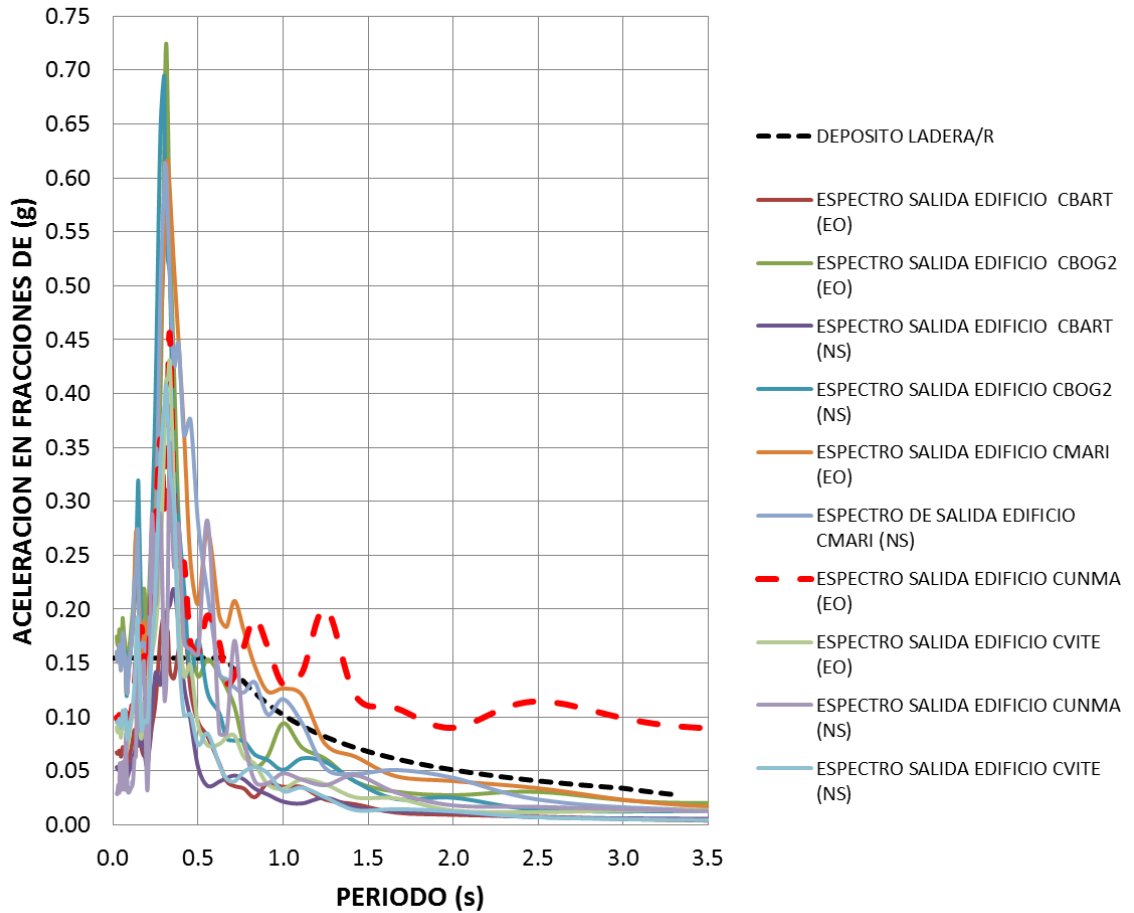
Fuente: Elaboración propia

6.3.5 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA DEPOSITO LADERA



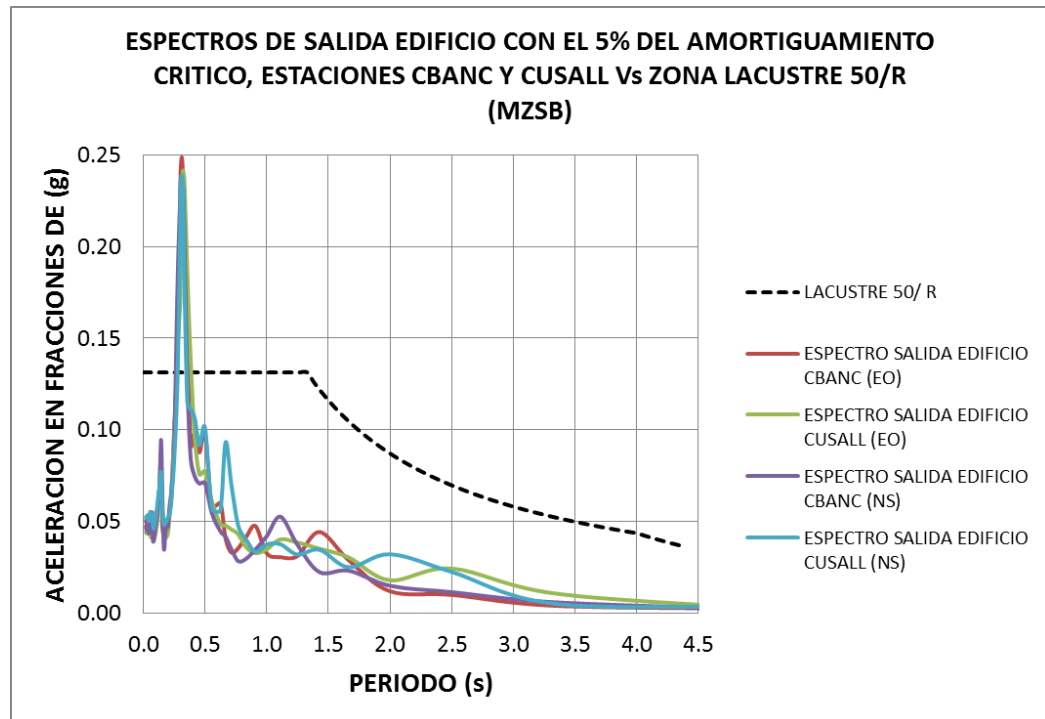
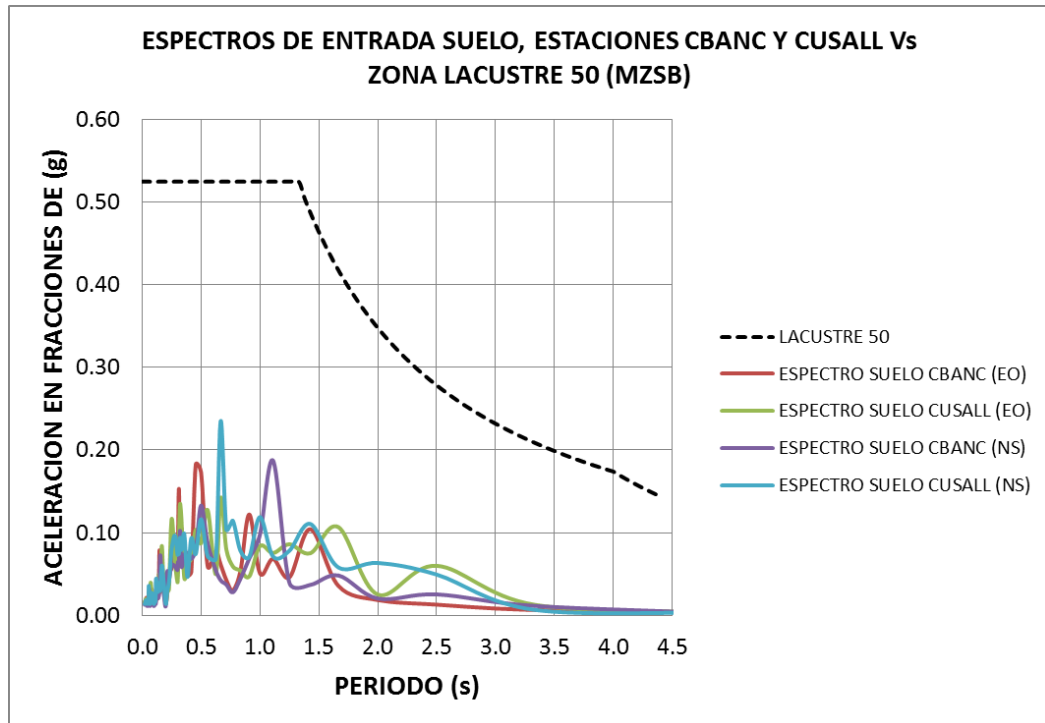
Fuente: Elaboración propia

**ESPECTROS DE SALIDA EDIFICIO CON EL 5% DEL AMORTIGUAMIENTO
CRITICO, ESTACIONES CBART, CBOG2, CMARI, CUNMA Y CVITE
Vs ZONA DEPOSITO LADERA/R (MZSB)**

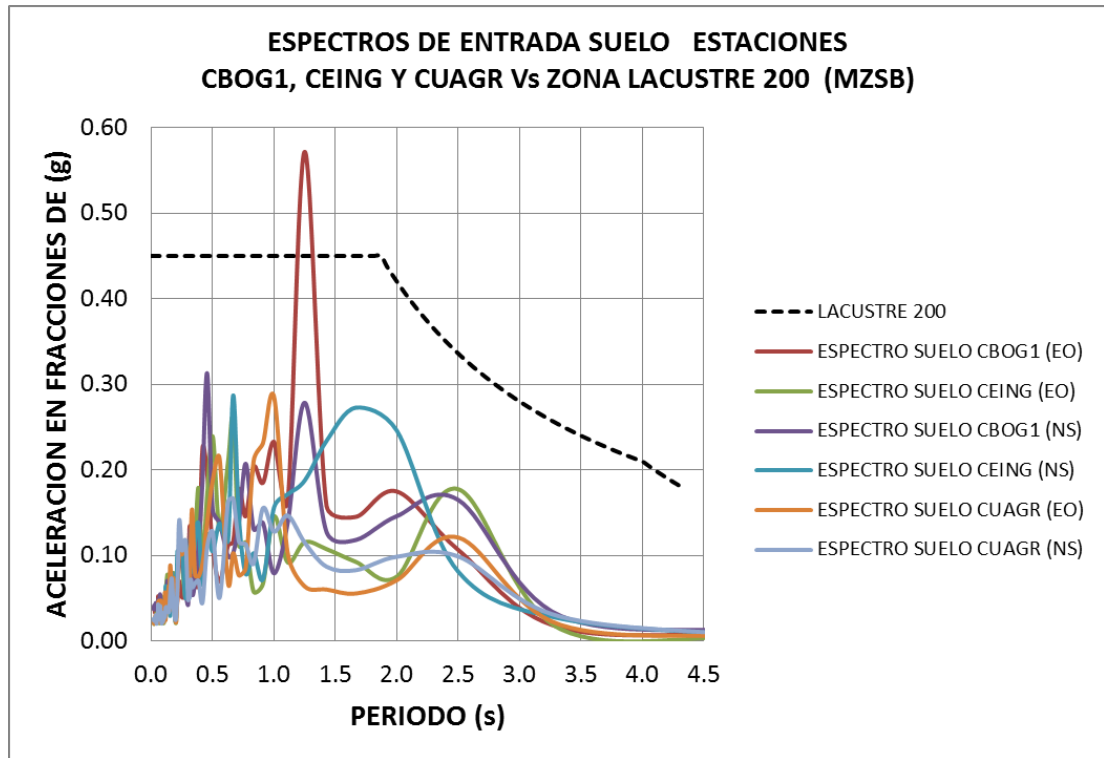


Fuente: Elaboración propia

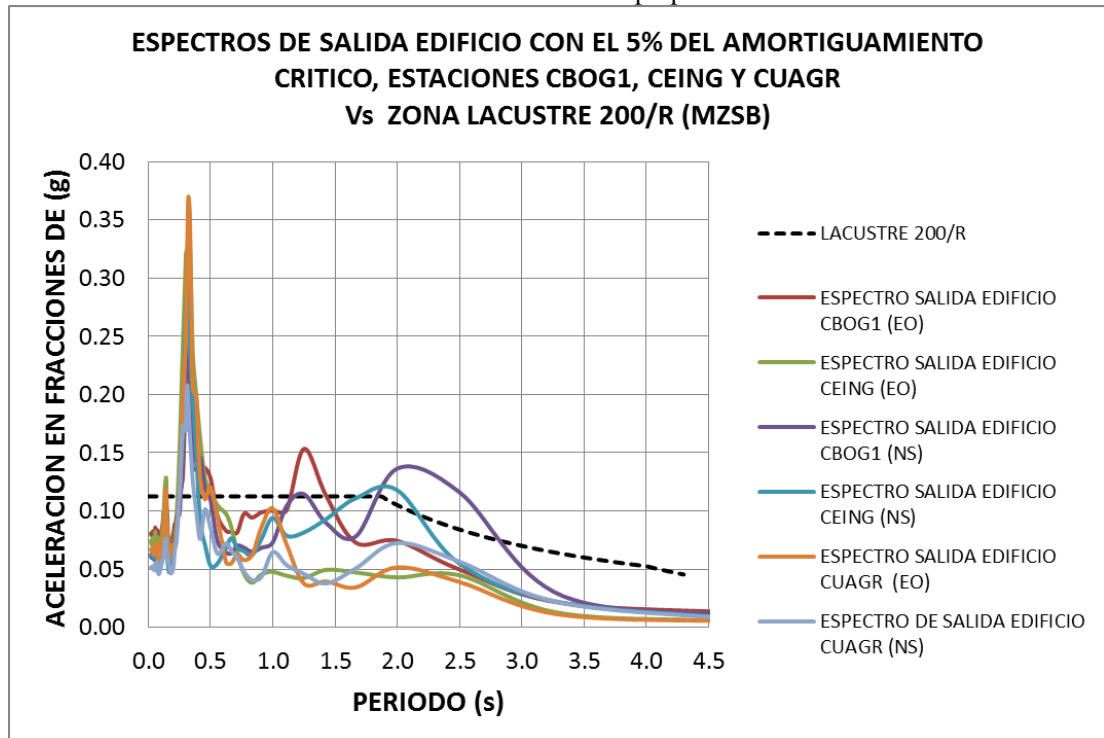
6.3.6 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA LACUSTRE 50



6.3.7 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA LACUSTRE 200

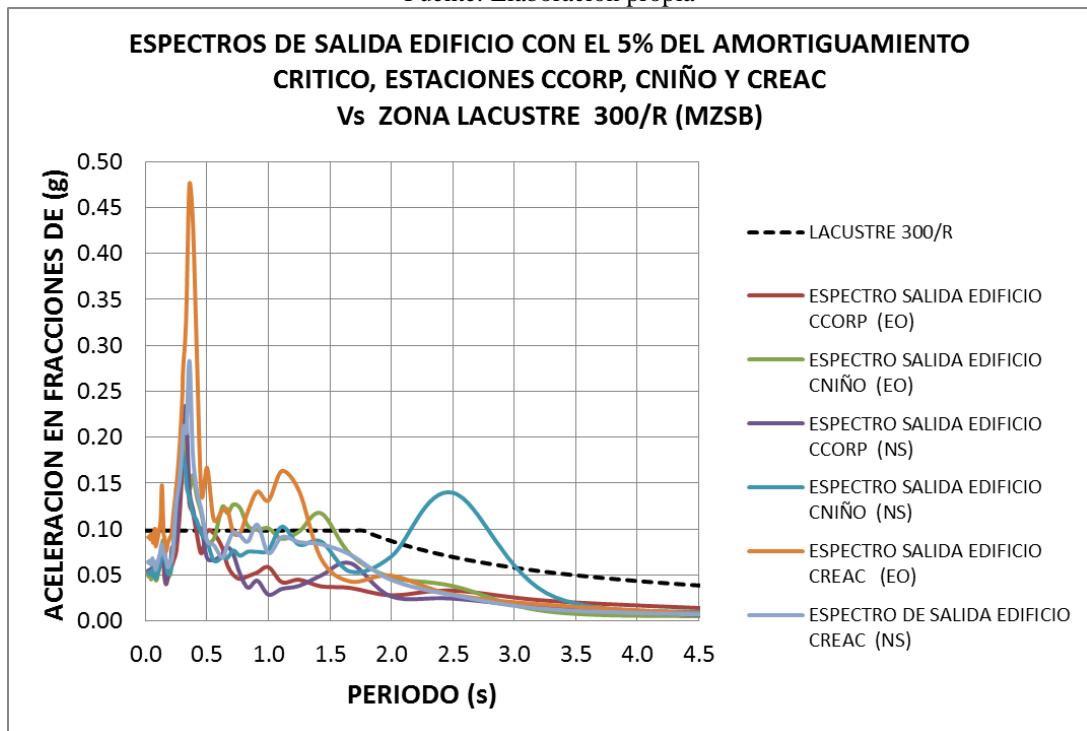
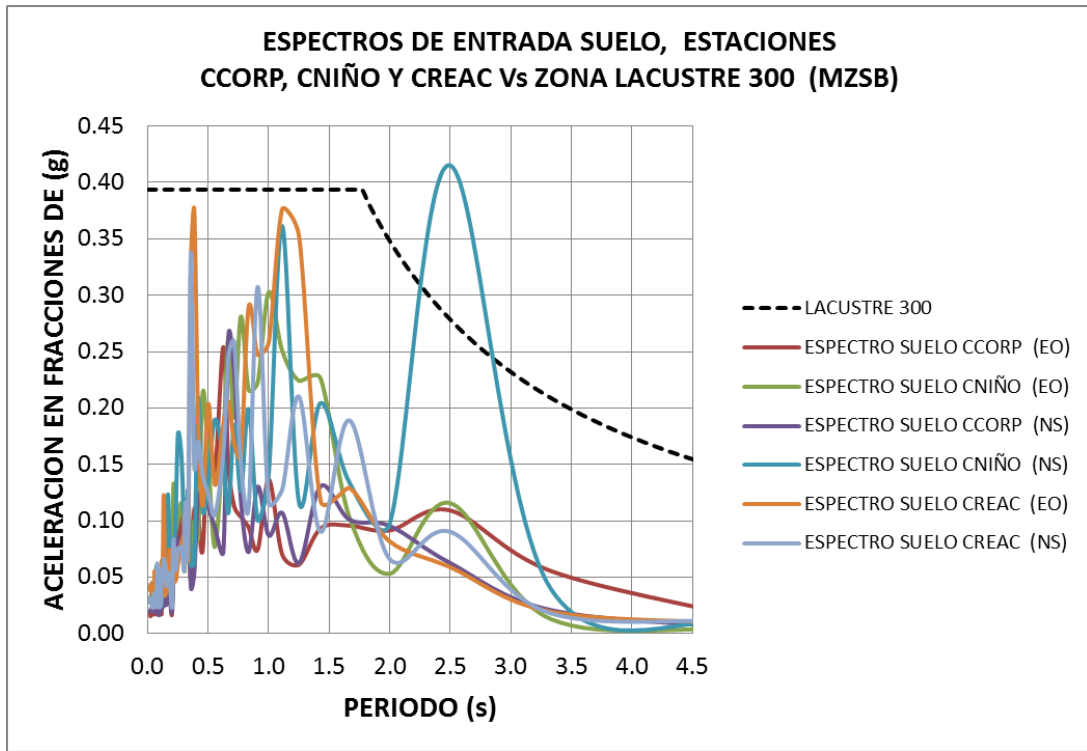


Fuente: Elaboración propia

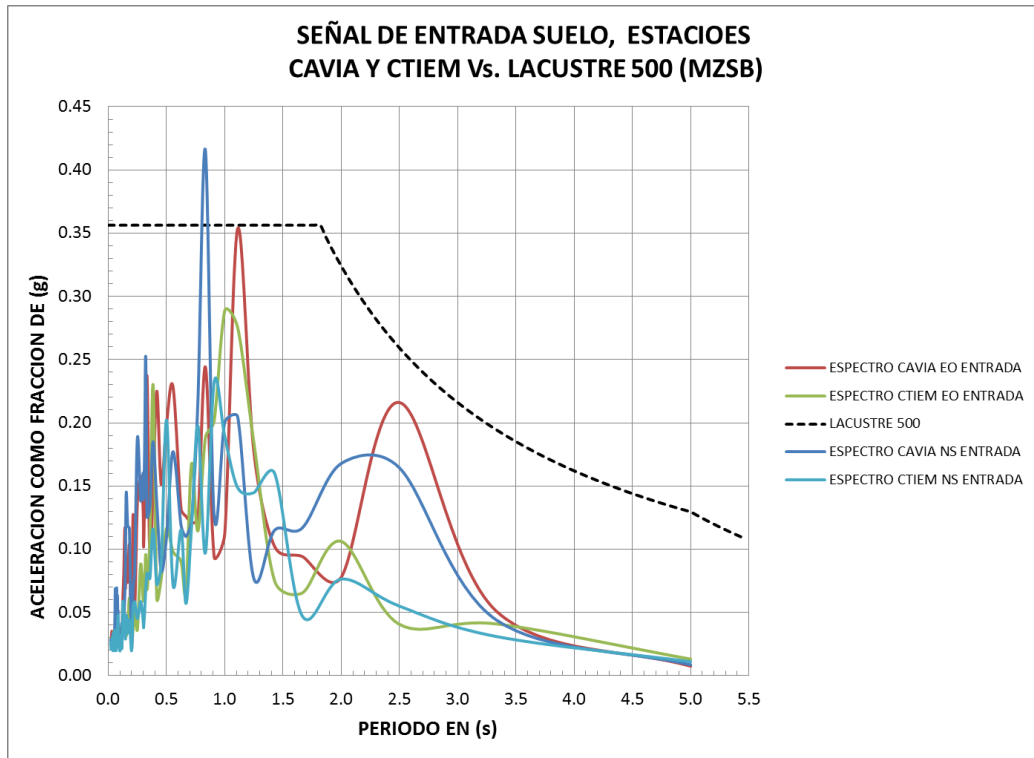


Fuente: Elaboración propia

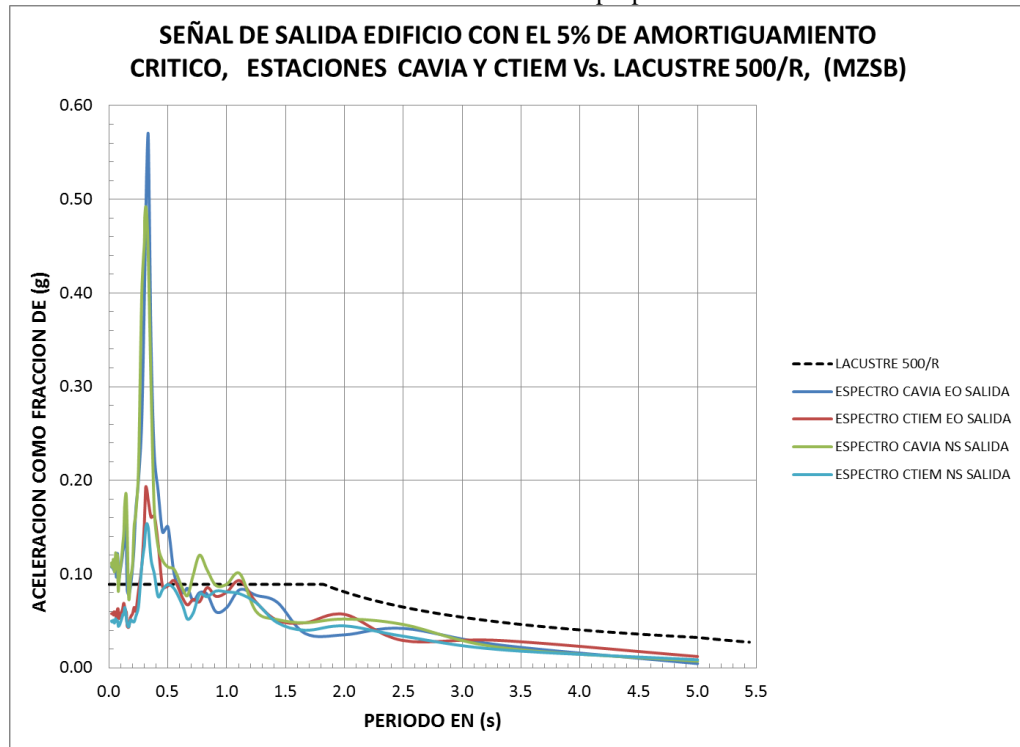
6.3.8 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA LACUSTRE 300



6.3.9 RESUMEN ZONA DE MICROZONIFICACION SISMICA LACUSTRE 500

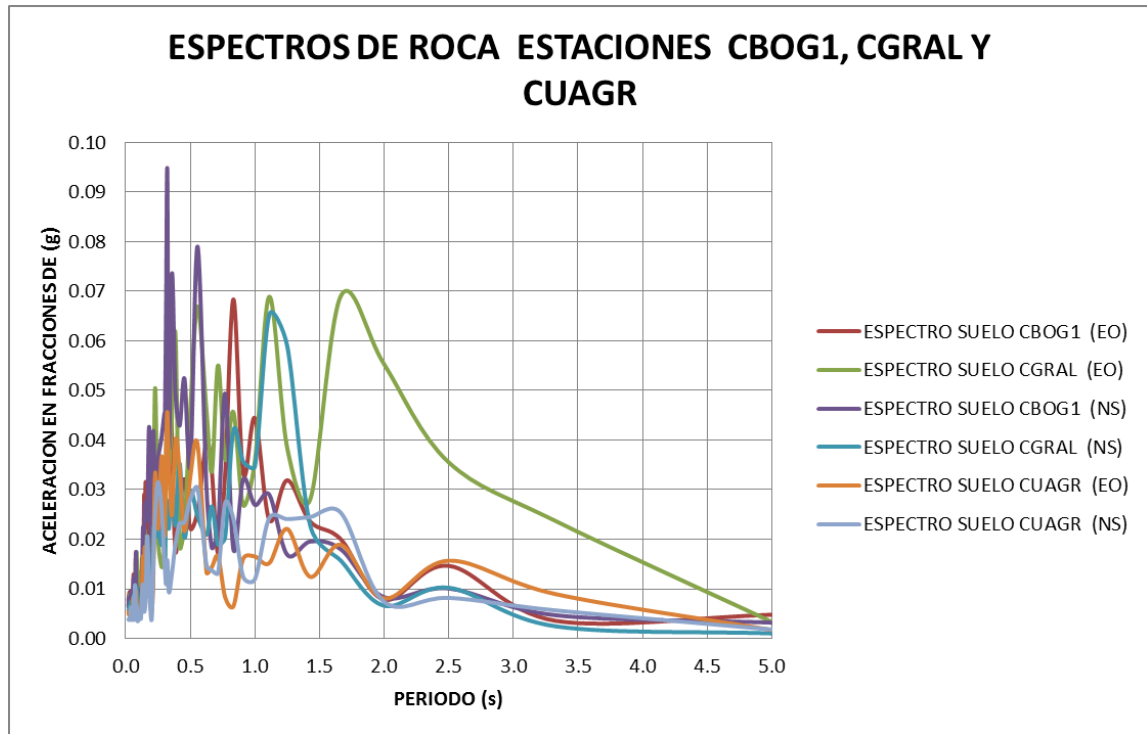


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

6.3.10 RESUMEN ESTACIONES EN ROCA



Fuente: Elaboración propia

6.4 OBSERVACIONES A LOS GRAFICOS DE ESPECTROS DE SALIDA Y RESPUESTA PRESENTADOS

La información para producirlos, fue ordenada y procesada rigurosamente a objeto de no cometer equivocaciones con el manejo de la gran cantidad de datos numéricos que arrojaron cada uno de los procesos de cálculo. Al presentar los resultados en forma gráfica, tiene ventajas extraordinarias. Para el 5% de amortiguamiento crítico, las más evidentes son:

- El espectro de aceleraciones propuesto por la microzonificación sísmica de Bogotá, a nivel de respuesta del suelo, para el diseño de estructuras, con un amortiguamiento del 5% del crítico, contiene a la mayoría de espectros calculados, (denominados en este trabajo como espectros de entrada suelo); con la excepción de las estaciones CBOG2, en el sentido EO, en la zona Deposito Ladera, de periodos cortos, la estación CBOG1, en el sentido EO, en la zona Lacustre 200 en el rango de periodos de 1.0s y 1.5s, la estación CNIÑO, en el sentido NS, en la zona Lacustre 300 de periodos largos, (2.0s a 3.0s) y la estación CAVIA, en el sentido NS, en la zona Lacustre 500, en el nivel de 0.5s y 1.0s.

- b) Como el resultado de dividir la aceleración espectral por el valor característico de “R” (Coeficiente de capacidad de disipación de energía), como es lo habitual al aplicar la NSR-10 al diseño de los elementos estructurales. Entonces para compararla con los espectros calculados, se dividieron por $R=4.0$, (valor aplicado al sistema de resistencia sísmica de muros de concreto), los espectros de microzonificación. Con esta premisa se observa que a nivel de respuesta de salida de los edificios, la mayoría de las curvas, sobresalen de la meseta de los espectros de microzonificación, sobre todo en las zonas intermedias, (periodos cortos).
- c) En la zonas de periodos largos, sobresalen del espectro de microzonificación, (los espectros de salida del edificio, construido hipotéticamente), las estaciones CTEJE, en la zona Aluvial 200 en ambos sentidos, CFONT, en la zona Aluvial 300, en el sentido NS, entre periodos de 1.0s y 1.50s y la más dramática, que sobresale casi por completo, que es la estación CUNMA, en la zona Deposito Ladera, en el sentido EO. También sobresale en esta misma zona, la estación CMARI, en el sentido EO, entre los periodos de 1.0s y 1.20s. Del mismo modo, las estaciones CBOG1, en ambos sentidos y CEING, sentido NS.
- d) Las aceleraciones alcanzadas por los edificios en la fase intensa, tienen valores extremadamente altos, con relación a los espectros de diseño de la NSR-10 y el Decreto 523, (sobre microzonificación sísmica de Bogotá). Comparativamente, los valores de la NSR-10 y de la microzonificación, oscilan entre 0.09g y 0.15g, mientras que los valores de respuesta del edificio, (espectros de salida), varían entre 0.23g y 0.72g.
- e) Es fácil la lectura de la fase intensa, donde se esperan las mayores fuerzas y aceleraciones, en los gráficos de cortante basal versus tiempo en segundos. Como todas las gráficas están interrelacionadas y pertenecen a la misma muestra, es fácil establecer correlaciones, entre varios resultados. Como se sale del alcance de este trabajo se deja la inquietud para continuar con trabajos posteriores.
- f) Los espectros de la MZSB de velocidad y desplazamiento, en la zona de periodos largos, están muy por encima de los resultados obtenidos. Un diseño basado en estos parámetros debe realizarse cuidadosamente, ya que en la zona de periodos cortos, entre 0.0 y 0.50s, todas las curvas de los espectros de salida, de los edificios, las excedieron en forma significativa. Es decir, que suponer líneas rectas en los espectros de velocidad y cóncava en la de desplazamiento, en los periodos cortos, no es lo más conveniente.
- g) En los anexos, se incluye los análisis teóricos, con los cuales se evaluaron los espectros y los datos numéricos utilizados.

7. CONCLUSIONES

Con los trabajos académicos, nunca se puede concluir, sobre si se tiene la última palabra o la razón, con respecto a los fenómenos naturales estudiados o a las observaciones que se realizan a los mismos. La gran verdad es, que todos nos paramos en los hombros de los que nos antecedieron y nos valemos de sus resultados y conocimientos para mejorarlos y en ocasiones los utilizamos para cambiar, muchas de las ideas y pensamientos, que parecían fijas e inmutables y pretendían permanecer estáticas en la historia. Por esta causa, la ciencia conjuntamente con la experimentación, se revalúan perpetuamente; porque es inherente a la curiosidad y búsqueda permanente, de la verdad del momento, que ha emprendido el Hombre desde su origen consciente.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, dejan en claro la necesidad imperativa, de realizar ajustes a los parámetros de diseño estructural, conjuntamente con los del suelo. El estudio dinámico del sismo de Quetame, en los edificios de configuración realística, muestran fehacientemente, que el diseño estructural y la interacción con el suelo de fundación, no está resuelta y se encuentra aún lejos de la realidad observada. Por lo tanto, debe continuarse investigando, con trabajos similares o mejores a este, para subsanar los vacíos existentes en la normativa. Ya lo había mencionado, Gallego et, al (2012), con relación al sismo de Quetame de 2008, que este no libero sino una mínima parte de la energía del sismo esperado, de magnitud 7.5 y que pese a su magnitud de $M_L=5.7$, en la escala local de Richter, ocasiono que varias edificaciones llegaran al límite de ocupación y algunas a las de daño.

Existe alta probabilidad de que las edificaciones, de rango intermedio, que son las más comunes, como los edificios de 6 pisos y altillo, como los de este trabajo, entren en resonancia, en el peor de los casos, o tengan demandas altas de rigidez y ductilidad.

Los espectros de aceleración de salida, de los edificios del presente estudio, marcan una pauta muy interesante e importante en el diseño estructural, ya que su forma y la presencia de picos muy altos de aceleración, generados por las demandas sísmicas, son muy distintos a los propuestos por la microzonificación y serian aún más diferentes si se tomara, un acelerograma sintético, referido al de Quetame de 2008, con la magnitud real de diseño. Los ajustes deben realizarse en los espectros de amenaza uniforme y de conformidad con las tasas de retorno de 475, 225 o 55 años.

Los sismos de entrada del suelo, en algunas zonas de microzonificación, están muy abajo del espectro de amenaza y en otros casos está al borde de la línea de amenaza y excepcionalmente la supera. Los resultados muestran la interdependencia que existe entre las funciones de transferencia de entrada y salida de los sismos.

El análisis dinámico de estructuras, se muestra como la mejor herramienta para el diseño de las estructuras. Con este método se tiene en cuenta, la variación de las fuerzas horizontales con el tiempo, (ver gráficas de cortante basal normalizado versus tiempo) y su incidencia en las demandas de rigidez y ductilidad. La información que se requiere para llevar a cabo dicho análisis, consiste en acelerogramas de superficie, debidamente filtrados y seleccionados, para que representen los sismos lejanos de subducción; los regionales, (distancia al epicentro mínima con Bogotá de 60km aproximadamente y de magnitud relevante, por ejemplo entre 7.0 y 7.5 de M_L) y sismos cercanos, (con magnitudes menores o iguales a 6), (Orozco et, al 2008). También existe la posibilidad de utilizar acelerogramas sintéticos, para simular la respuesta de los depósitos blandos al sismo de diseño y su verificación inmediata con el espectro de riesgo sísmico.

Incrementando la instrumentación sísmica de la ciudad y mejorando el aprovechamiento de los datos, en archivo digital sobre diferentes estratos de suelo y para diferentes zonas de riesgo, que actualmente dispone el FOPAE y que a mi juicio se desperdician, ya que cuando se solicitan no están disponibles o dependen de la voluntad del encargado de turno, en manejar estos documentos, que son públicos y de libre consulta, inclusive por la red web.

Los parámetros del suelo, pueden correlacionarse con los registros sísmicos, de cada una de las estaciones superficiales de la RAB y establecer valores promedio, para la rigidez y el módulo de cortante; inclusive pueden correlacionarse también con los ensayos SPT, CPT y piezocono.

8. BIBLIOGRAFIA

- Asociación Colombiana de ingeniería sísmica; *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, 2011.*
- Bobby O. Hardin and Michael E. Kalinski. *Estimating the Shear Modulus of Gravelly Soils, Journal Of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering* © Asce / July 2005
- Bowles, Joseph E. *Foundation Analysis and Design*, Mc Graw Hill, Fifth edition, 1997
- Das, Braja M. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 5ª. Edición.
- Gallego, Mauricio. *Estimación de riesgo sísmico en la República de Colombia*. Tesis de Maestría para optar al título de Maestro en Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma del estado de México. Noviembre de 2000.
- Gallego, Mauricio. *Acerca de la construcción de edificaciones esbeltas, elevadas, pesadas y densamente pobladas sobre los suelos blandos de la ciudad de Bogotá D.C.* En: Anexo de la carta a las autoridades de planeación urbana de la ciudad de Bogotá D.C. Documento no publicado. Marzo de 2007.
- Gallego, Mauricio et al. *Edificios de concreto reforzado siguiendo la NSR-10 vs sismo de Quetame registrado en Bogotá D.C.* En: *Ingeniería y Ciencia* Vol. 8, N° 16, pp. 129-189. Universidad EAFIT. 2012
- Gallego, Mauricio y Gallego, Jorge. *Análisis y diseño conceptual de edificio Rioterra en Montería, Córdoba*. Documento no publicado. Octubre de 2011
- García R, Luis Enrique, *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*, Universidad de los Andes, Bogotá, 1998
- Jianfeng Zhang, Ronald D. Andrus, and C. Hsein Juang. *Model Uncertainty in Normalized Shear Modulus and Damping Relationships*. JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING © ASCE / JANUARY 2008
- Maldonado Rondón, Esperanza y Chio Cho, Gustavo. *Análisis Sísmico de Edificaciones*. 2004, v.500. p.287
- Maldonado Rondón, Esperanza y Chio Cho, Gustavo. *Dinámica Estructural*. UIS, 2010
- Nava, Alejandro. *Terremotos*. Tercera edición (La ciencia para Todos). ISBN 968-16-5768-3. Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 1998
- Orozco, Luis y Rodríguez, Jorge. *Asesoría geotécnica y sismológica para la evaluación de la amenaza sísmica del proyecto Titan Plaza*. Fopae. Informe no publicado. 2008
- PAZ M. *Structural Dynamics Theory and Computation*. Van Nostrand Reinhold. (Orientado a SAP)
- Rodríguez G. Edgar E. *Apuntes de clase de la materia Dinámica de Suelos*. Primer semestre, año 2011.

ANEXOS

ANEXO 1

DECONVOLUCION DE SISMOGRAMAS DIGITALES

El procedimiento de la deconvolución de sismogramas, es un procedimiento valioso para conocer el movimiento real de la masa del suelo. La aplicación del procedimiento, requiere necesariamente del uso de software, para procesar los datos sísmicos. Existen en el mercado programas como el SAC (IRIS), SEISAN y Matlab. Con la aplicación de estos programas se obtienen las velocidades y aceleraciones máximas, para cada una de las zonas definidas en la microzonificación. De otra parte se plantea la posibilidad, como continuidad a este trabajo, de analizar el ruido sísmico, en cada una de las estaciones sismológicas de la ciudad (RAB), utilizando como herramienta, la función de densidad espectral de potencias. El registro de las altas frecuencias, son provocadas principalmente por el ruido de los vehículos, debido a la cercanía de las vías y por la interacción del medio con vegetación y los fenómenos ambientales, entre otras. (Figueroa, Chávez y Zúñiga, UNAM, 2010)

1.2 FORMULACION PARA LA APLICACIÓN DE LA DECONVOLUCION A LOS REGISTROS: La aplicación de la deconvolucion, a las diferentes estaciones de registro, permitirá la obtención de una base de datos confiable, para la evaluación de las aceleraciones en la roca y su interacción con las capas de suelo de la ciudad. Un sismograma, $s(t)$; es la convolución entre la respuesta instrumental del sismógrafo, $\dot{r}_i(t)$; y la velocidad del suelo $\dot{x}(t)$; matematicamente, puede expresarse asi: (Figueroa, Chávez y Zúñiga, UNAM,2010)

$$s(t) = \dot{x}(t) * \dot{r}_i(t) \quad (E - 3.1)$$

$\dot{r}_i(t)$: Respuesta instrumental, en unidades de velocidad [cuentas/m/s]

$s(t)$: En unidades de cuentas.

El símbolo (*), simboliza la operación matemática de convolución.

Utilizando la transformada de Fourier, en la ecuación anterior, en términos del dominio de la frecuencia, se obtiene:

$$S_{(w)} = \dot{X}_{(w)} \cdot \dot{R}_{i(w)} \quad E - 3.2$$

Que también pueden escribirse, por las propiedades de la transformada de Fourier, de la siguiente forma:

$$S_{(w)} = (-iw) \cdot X(w) \cdot \dot{R}_i(w) \quad E - 3.3$$

$$S_{(w)} = (-iw). \dot{X}(w). \dot{R}_i(w) \quad E - 3.4$$

$$S_{(w)} = (w)^2. X(w). R_i(w) \quad E - 3.5$$

La función $F(w)$ y su derivada $\dot{F}(w)$, están relacionadas, en el dominio de la frecuencia por la ecuación E-3.6

$$\dot{F}(w) = (-iw). F(w) \quad E - 3.6$$

Las unidades para la ecuación E-3.3 son: [cuentas] = [1/s][m][cuentas/m/s]

Que son aplicables a las ecuaciones E-3.1 hasta la E-3.5. Las ecuaciones E-3.2, E-3.3 y E-3.5, señalan la gama de posibilidades que se presentan al deconvolucionar los sismogramas. Si la respuesta instrumental $\dot{R}_i(w)$, tiene unidades de velocidad, las unidades del movimiento del terreno pueden ser en velocidad o en desplazamiento, según las ecuaciones E-3.2 y E-3.3 respectivamente. Con la respuesta del instrumento conocida, es factible realizar la deconvolución de sismogramas para obtener la velocidad y aceleración real del terreno. (Soto, et al., UNAM, 2009)

Para utilizar y analizar el ruido sísmico, se emplea la función de densidad espectral de potencia, PSD (por sus siglas en inglés), evaluándose a partir de la transformada de Fourier. Si el ruido sísmico, es definido por la función $f(t)$, su transformada puede expresarse como:

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{i\omega t} dt$$

Como el ruido se considera un proceso aleatorio, la integral anterior no converge y por esta razón se utiliza la función de densidad espectral de potencia, especificada a fin de que cumpla lo siguiente:

$$PSD(w) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|F(w)|^2}{T}$$

T: Es el periodo

PSD: Las unidades de la función se dan en decibeles de aceleración con respecto a $1m/s^2$;

$(|PSD| = dB \text{ relativo a } \left(\frac{m}{s^2}\right)^2 / Hz)$.

El procedimiento consiste en seleccionar ventanas de 20 minutos, para registros previamente deconvolucionados de ruido sísmico, registrados durante el día y la noche, discriminando las señales de eventos sísmicos y efectuar el cálculo de las aceleraciones, mediante el programa SEISAN y el software Matsac, que permiten leer los registros en formato SAC.

ANEXO 2

GEOLOGIA DE LA SABANA DE BOGOTA D.C.

2.0 RESEÑA SOBRE LA GEOLOGIA DE LA SABANA DE BOGOTA: Según los estudios de lito estratigrafía del INGEOMINAS, en la Sabana, afloran rocas sedimentarias de origen marino y continental, con edades entre el Cretáceo y Terciario al igual que depósitos sedimentarios poco consolidados de edad Pleistoceno a reciente. (INGEOMINAS, 1995-a; Caro et al, 1996).

Las unidades en orden cronológico de la más antigua a la más reciente son las siguientes:

ORDEN CRONOLOGICO	FORMACION O GRUPO	CODIGO	ESPEJOR DE AFLORAMIENTO (m)	COMPOSICION	PROFUNDIDAD (m)	V _p (m/s)
1.1.1	Chipaque	Ksch	130/205	Lutitas limo arcillosas y areniscas cuarzosas	2,760	3,450
1.1.2	Guadalupe, conformada por:	Ksg			2,385	3,350
1.1.2.1	Arenisca Dura	Ksgd	308/450	Areniscas cuarzosas		
1.1.2.2	Plaeners	Ksgp	40/117	Arcillolitas silíceas		
1.1.2.3	Labor Tierna	Ksglt	10/165	Areniscas cuarzosas, silíceas y feldespáticas		
1.1.3	Guaduas	Ktg	70/606	Arcillolitas y areniscas, arenisca cuarzosas y mantos de carbon	2,000	3,200
1.1.4	Cacho	Tpc	50	Areniscas		
1.1.5	Bogota	Tpb	620	Alternancia entre arcillolitas y areniscas cuarzosas y feldespáticas	680	1,700
1.1.6	Arenisca la Regadera	Tpr	360	Areniscas cuarzosas y fragmentos líticos, con matriz arcillosa	504	1,680
1.1.7	Usme	Tpu	150	Limolitas y arcillolitas		
1.1.8	Tunjuelito	Qpt	100	Bancos de bloques, guijarros, guijos y granulos de areniscas, limolitas, arcillolitas y chert dentro de una matriz areno arcillosa.		
1.1.9	Sabana	Qs	320	Arcillas plásticas con intercalaciones de lentes de arena y grava; intercalaciones de ceniza volcánica		
1.1.10	Depositos aluviales/Terrazas bajas	Qtb		Limos y arenas		
1.1.11	Depositos aluviales/Terrazas altas	Qta		Limos y arenas		
1.1.12	Coluvion	Qdp		Producto de la fracturación, meteorización y erosión de rocas preexistentes, transportadas por el agua		
1.1.13	Suelos residuales	Qrs		Producto del intemperismo de las rocas		
1.1.14	Rellenos de excavaciones	Qr		Adecuación de terrenos en desarrollo urbanístico, principalmente en Guaymaral, Aeropuerto, Autopista Norte y Norte de Bosa		
1.1.15	Rellenos de Basura	Qb		Conformada por los desechos sólidos de la ciudad por ejemplo el relleno sanitario del Cortijo, Gibraltar, Santa Cecilia y Doña Juana		

La Sabana de Bogotá, está atravesada por fallas del tipo sinclinal, de conformaciones amplias y continuas y por fallas anticlinales de conformación estrecha, discontinuas y con deformaciones, debido a los fenómenos de cabalgamiento longitudinal y al diapirismo de sal, que provocan movimientos de rampas acompañados por desplazamientos.

2.0 PRINCIPALES FALLAS GEOLOGICAS DE LA SABANA DE BOGOTA: La geología de la Sabana de Bogotá, puede definirse en dos zonas principales, cuyas estructuras de fallas se describen a continuación:

2.1 Zona oriental, de la Cordillera Oriental: Corresponden a las fallas formadas al oriente del núcleo del sinclinal de Checua, al trazo del río Bogotá en el centro y del río Tunjuelito al sur. Las fallas son predominantemente de cabalgamiento. Las principales fallas de la zona oriental son las siguientes:

2.1.1 Falla de Suralá: Esta falla es la más oriental de la Sabana, se localiza entre la región del Sisga y el oriente de La Calera. Su movimiento es principalmente inverso, la presencia de termales en el sector del Sisga, sugiere que la falla pueda ser profunda. ***“Dentro de su movimiento inverso, pone en contacto la parte media de la Formación Labor-Tierna con la Formación Guaduas y en la parte más sur (oriente de La Calera), coloca la Formación Plaeners, con la parte alta de la Formación Guaduas”.*** (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.2 Falla Chocontá – Pericos: Esta falla es inversa y con vergencia al Oriente, se extiende, desde Villapinzón, bordeando el flanco occidental del valle de Chocontá y el de Tominé, hasta el sur de la Calera. Debido a los cambios que sufre en su trayectoria se subdivide en dos. a) El tramo Norte, que es rectilíneo, se extiende desde Villapinzón hasta Sopó. ***“Cabalgan las Formaciones Lidita superior, Plaeners y Labor Tierna sobre la Formación Guaduas y genera inversión de estratos y en algunos sectores como en la región de Sisga-Chocontá presenta bloques rotados”.*** (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005). b) El tramo sur desde el municipio de Sopó hasta La Calera, tiene segmentos rectilíneos y segmentos con salientes al norte de La Calera, donde cabalga la Formación Chipaque sobre la Formación Cacho, mientras que en el resto de su trazo, cabalgan las Formaciones Plaeners y Labor-Tierna sobre la Formación Guaduas. La máxima deformación se presenta en los alrededores de La Calera. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.3 Falla de Guatavita: Esta falla es de cabalgamiento, con vergencia al occidente. Se localiza entre el embalse del Sisga y el Municipio de Guatavita. El segmento norte, genera el anticlinal de San José, donde cabalga la Formación Plaeners sobre la Formación Guaduas del sinclinal de Sesquilé. El segmento sur, genera el anticlinal de Guatavita y cabalga la Formación Arenisca Dura sobre la Formación Guaduas del sinclinal de Sisga. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.4 Sistema de Fallas de Villapinzón: Esta denominación corresponde a las fallas inversas con vergencia al occidente, de Farasia y Villapinzón (Montoya & Reyes, 2003). Están localizadas al Norte de la Sabana, son fallas que afectan los anticlinales de Chocontá y Ventaquemada. Se extienden desde Chocontá hacia el norte. La falla oriental de Villapinzón, coloca en contacto a las Formaciones Churuvita, Simijaca y La Frontera del anticlinal de Ventaquemada con la Formación Conejo del anticlinal de Chocontá. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.5 Falla de Nemocón: Esta falla de cabalgamiento se localiza en la zona central norte de la Sabana y presenta una vergencia al oriente. Comienza al sur en el área fallada de Nemocón y se extiende hacia el norte bordeando el anticlinal de Guachaneca. Entre Nemocón y Suesca, pone en contacto rocas de la Formación Conejo, del anticlinal de Nemocón, con las Formaciones Guaduas y Cacho del sinclinal de Suesca. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.6 Falla de Teusacá : Esta falla inversa, con vergencia al occidente, se extiende bordeando el flanco oriental del valle del río Teusacá, desde el sector del Salitre hasta el límite suroriente del área de la Sabana de Bogotá, hacia el Norte se proyecta por debajo de los depósitos cuaternarios. Pone en contacto unidades de Arenisca Dura, Plaeners y Labor –Tierna contra la Formación Guaduas. La Falla Pericos presenta la máxima deformación, en los alrededores de La Calera, colocando en contacto rocas de la Formación Dura, sobre la Formación Guaduas. ***“La Falla de Teusacá parece ser un retro cabalgamiento de la Falla Pericos, pero al Sur, el trazo de la Falla Teusacá continua en tanto que la de Pericos parece terminar en ella; de esta forma podemos considerar una transferencia de la deformación entre las dos fallas que se manifiesta donde se genera la máxima perturbación tectónica.”*** (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.7 Falla de Bogotá: Esta falla inversa con vergencia al occidente, circunda los cerros orientales de la Sabana, Monserrate y Guadalupe. Se extiende desde el Páramo de Sumapaz, desde el sur hasta el norte de la ciudad de Bogotá. En el extremo norte, se presenta fosilizada por los depósitos cuaternarios. Al sur cabalga entre las rocas de la Formación Labor-Tierna y las rocas de la Formación Bogotá, en la localidad de Usme y posteriormente sobre las formaciones Cacho y Guaduas, hasta desaparecer. Es catalogada como de actividad incierta. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.8 Falla del Río Tunjuelo: La falla sigue aproximadamente el curso del río Tunjuelito, afectando el contacto entre las unidades Regadera y Usme. Está localizada dentro del sinclinal de Usme, desde el embalse de la Regadera hasta la localidad de Usme. ***“Reporta indicios moderados de actividad neo tectónica, frente a la localidad de Usme.”*** (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.9 Sinclinal del Sisga: Pertenece al sinclinal denominada Siecha-Sisga. Está localizada al nororiente de Sabana, extendiéndose entre Guasca, el embalse del Sisga y la localidad de Villapinzón; se caracteriza por los depósitos de gravas y arenas de la Formación Tilatá. En sus flancos están las unidades paleógenas, Guaduas, Cacho, Bogotá y Regadera. Al oriente y al occidente está limitado por fallas inversas de Chocontá y Suralá con vergencia hacia el sinclinal. Al sur en la región de Guasca, termina contra la falla de Chocontá – Pericos. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.10 Sinclinal de Sesquilé: Se expande desde el suroccidente de la localidad de Guasca, continuando por el embalse de Tominé y termina al occidente de Chocontá. El núcleo está compuesto por depósitos cuaternarios en Tominé y rocas de la Formación Bogotá, cerca de Chocontá. Los flancos están conformados por rocas de la Formación Cacho y Guaduas. Al sur no es fácil detectarla, debido a que su núcleo está cubierto, parece ser que terminando al occidente de Guasca. De igual forma presenta cambios muy notorios, debidos principalmente a los movimientos de la Falla de Chocontá, que la cerca de Sesquilé, generando al sinclinal un desplazamiento y un curvamiento en sentido dextral. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.11 Sinclinal de Suesca – Teusacá: Esta sinclinal es asimétrica extiéndase desde el valle del río Teusacá, al sur de La Calera, pasando por el valle del río Bogotá, entre Tocancipá y Suesca. Al norte continua por la vereda Tibitá hasta el sinclinal de Albarracín. En sus flancos, el núcleo está entre las rocas de las Formaciones Bogotá y Cacho. Aflorando por sus flancos la Formación Guaduas. Este sinclinal es angosta inferior a 3.0km. Las fallas de Nemocón y Suesca son su límite natural que controla su amplitud. En los municipios de Suesca y Sopó, la sinclinal se rellena por depósitos cuaternarios y su amplitud llega a los 6.0 km. Al sur de Sopó, la sinclinal limita, en su flanco oriental por las fallas de Teusacá. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.12 Sinclinal de Checua: Esta sinclinal se localiza entre los municipios de Zipaquirá y Lenguazaque, continuando hacia el norte con el nombre de Guachetá. El sinclinal de Checua es asimétrico, con el flanco oriental más inclinado y en ocasiones invertido debido al efecto de la Falla de Cucunubá. Al Sur, el sinclinal muestra pequeños plegamientos que están cubiertos por depósitos cuaternarios de la Sabana de Bogotá. El núcleo se localiza entre las rocas de la Formación Bogotá y los flancos de las Formaciones Cacho y Guaduas. Continúa hacia el sur de la Sabana, entre la serranía de Chía-Cota y los cerros orientales de Bogotá. ***“De no existir fallas con desplazamientos importantes fosilizadas en el centro de la Sabana podría tener una conexión con el sinclinal de Usme.”*** (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.13 Sinclinal de Usme: Esta estructura está localizada al sur de la ciudad de Bogotá. Emplazada desde el sur de la Sabana de Bogotá, hasta el Páramo de Sumapáz, corriendo a lo largo del río Tunjuelito, con una amplitud que varía entre los 6.0 y los 12.0 km. En su

núcleo contiene la sucesión terciaria más completa de la Sabana, conjuntamente con las formaciones Guaduas, Cacho, Bogotá, Regadera y Usme. El flanco oriental asimétrico, de esta sinclinal se afecta por la falla de Bogotá, que le ocasiona inversiones en los estratos. En el flanco occidental únicamente falla en la porción más al norte. Hacia el sur, los buzamientos son suaves, presentando un cerramiento estructural, con las formaciones de Usme y Regadera al sur del embalse de Chisacá. ***“Aunque no es muy evidente, se ha establecido por INGEOMINAS (1995), que cerca del núcleo está afectado por la falla del río Tunjuelo.”*** (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.14 Anticlinal de Chocontá: Está ubicada entre el municipio de localidad de Chocontá y el sitio denominado Albarracín al nororiente de Bogotá y se prolonga hasta el norte. Es una anticlinal asimétrica en la parte sur y se abate hacia el occidente, su núcleo está localizado en la Formación Conejo y sus flancos están limitados por fallas. En la región de Chocontá presenta cabeceo, terminando en la Falla de Villapinzón. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.15 Anticlinal Sopó-Sesquilé: Es una estructura anticlinal asimétrica que abarca desde el Municipio de Sesquilé hacia el sur, pasando por el municipio de Gachancipá y el embalse de Tominé. El flanco occidental esta menos inclinado que el oriental, presentando inversiones, debidas a la limitación que le produce la Falla de Chocontá. En su núcleo aparece la Formación Arenisca Dura y en los flancos Plaeners y Labor-Tierna. Solo puede identificarse entre la localidad de Sopo y Sesquilé. Al sur del municipio de Sopo, la serranía que se forma, continua entre Sopó y La Calera, pero de manera fragmentada y con flancos de la estructura segmentada, debido a la deformación causada por la falla de Chocontá – Pericos entre otras. Por esta razón entre Sopo y el sitio de El Salitre existe angostamiento morfológico que se presenta en el flanco oriental del anticlinal, para posteriormente volverse a ensanchar en el sitio El Salitre y La Calera, finalmente decrece cerca de La Calera y continua hacia el sur perdiendo prominencia. En este sector afloran rocas cretácicas que hacen parte del flanco occidental del anticlinal. ***“Al norte de Sesquilé, aunque no hay conexión directa podría ser continuidad del anticlinal de Suesca, que es una estructura asimétrica con su flanco oriental menos inclinado y más extenso y ocupado por las rocas de la Formación Labor-Tierna.”*** (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.1.16 Anticlinal de Bogotá: Se localiza en los cerros orientales de Bogotá, entre el Alto de Chipaque y la vereda el Hato, sobre la carretera Bogotá – La Calera. Este unido con el anticlinal de Usaquén y en general, este anticlinal continúa hasta la vereda de Hato Grande, al oriente de Cajicá, con pequeñas fallas que la interrumpen. El núcleo de esta anticlinal esta en las rocas de la Formación Chipaque y en las formaciones de Arenisca Dura, Plaeners y Labor Tierna. Los flancos se afectan por las fallas de Bogotá, en la parte occidental y por la falla de Nemocón en el flanco oriental. La fragmentación producida en la región de Tibitó y el cierre estructural al sur de Nemocón, son debidas al diapirismo

de sal que se muestra superficialmente en las localidades de Zipaquirá y Nemocón. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2 Zona occidental: Esta zona incluye el occidente del sinclinal de Checua, el trazo del río Bogotá y hacia el sur el trazo del río Tunjuelito. Se caracteriza primordialmente por fallas de cabalgamiento con vergencias al Occidente y con sistemas imbricados, como los de Neusa al Norte y Santa Bárbara-Facatativá, al Sur. Estas estructuras imbricadas, son las responsables de la conformación de anticlinales y sinclinales, que se fueron erodando, para posteriormente ser saturados con sedimentos cuaternarios, conformando gran parte de la planicie de la Sabana. (INGEOMINAS, Montoya D; Reyes, G, 2005).

Por otra parte, existen zonas con diapirismo de sal, localizadas en el núcleo de los anticlinales, que interrumpen las fallas y los pliegues regionales, tal como ocurre en Zipaquirá y Nemocón. Igualmente sucede en la serranía al prolongarse desde el sector de Sesquilé hasta el Municipio de La Calera. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.1 Falla de Sutatausa: Esta falla recorre la de Neusa, hacia el norte. Tiene una vergencia al occidente y la forma inclinada de las capas indican un gran ángulo. Al sur se contacta con el anticlinal de Tausa y el sinclinal de Neusa. También se contacta con capas, cada vez más antiguas, del Grupo Guadalupe y de la Formación Conejo. La falla toca la Formación Lidita Superior y el techo de la Formación Conejo, del anticlinal de Tausa. Estas clases de contactos, sugieren un arrastre, producido por el movimiento transcurrente dextral. La relevancia de esta falla radica en que, pone en contacto unidades coetáneas de ambientes diferentes, como las formaciones de Arenisca Dura y Lidita Superior, generando desplazamientos horizontales de gran magnitud. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.2 Sistema de Carupa: Se denomina sistema de Carupa a la Falla de Carupa y a 2 fallas al occidente de esta. Se localiza en la parte norte de la sabana de Bogotá, teniendo origen en la Falla de Neusa. Las fallas de este sistema son principalmente de cabalgamiento con vergencia al occidente. Estas fallas contactan la Formación Plaeners con la parte media de la Formación Guaduas, generando repliegues e inversiones, que se observan con claridad en la vía Ubaté-Carupa. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.3 Falla El Porvenir : Se denomina así, a la falla inversa, con vergencia al occidente, que es continua debajo de los depósitos cuaternarios, de la falla que bordea por el occidente a la serranía de Chía – Cota, prolongándose hacia el norte, hasta el municipio de Zipaquirá. La parte sur de la falla, se ubica debajo de los depósitos cuaternarios, siendo responsable, del levantamiento de la serranía de Chía y del enrase de la Formación Conejo, con los depósitos cuaternarios. En el norte, desde la vía Tabio-Cajicá hasta el municipio de Zipaquirá, su trazo afecta las rocas de las formaciones Dura, Plaeners y Labor-Tierna. La formación Labor-Tierna cabalga sobre la Formación Guaduas y en el

municipio de Zipaquirá queda involucrada con el complejo bloque fallado a causa del diapirismo de sal. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.4 Falla Chital: Esta falla es inversa con vergencia al oriente, está localizada al noroccidente de la Sabana, bordeando el flanco oriental de la serranía de Tabio – Tenjo. La falla Chital, tiene movimiento transcurrente sinextral en el Norte, coincidiendo con un lineamiento NW que inicia en la zona de las salinas de Zipaquirá y sigue hasta la región del municipio de Pacho. Debido a su movimiento inverso, cabalgan rocas de la Formación Arenisca Dura, encima de las rocas de la Formación Guaduas. Al sur del municipio de Tabio, esta falla se fosiliza con depósitos cuaternarios. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.5 Falla de Subachoque: Esta falla es inversa con vergencia al occidente, bordea el flanco occidental de la serranía de Tabio – Tenjo, desde la falla Chital al norte, extendiéndose por debajo del relleno cuaternario, en la parte central de la Sabana. La falla pone en contacto las rocas de las formaciones Labor-Tierna, Plaeners y Dura, con las rocas de la Formación Guaduas; desprendiéndose en dos fallamientos menores, que atraviesan la serranía y culminan en la Falla Chital, entre los municipios de Tabio y Tenjo respectivamente. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.6 Sistema de Fallas de Soacha: El sistema está localizado al oriente de la Falla de Sibaté y continúa hasta el flanco oriental del Anticlinal de Mochuelo. Hace parte también del sistema, el anticlinal y sinclinal de Soacha. El sistema está basado en las múltiples fallas que generan un levantamiento de bloque, muy fracturado, con pliegues discontinuos tumbados y con ejes oblicuos. Se destacan las fallas de Cajitas y Sibaté con dirección norte-sur; así como la de Santa Bárbara, con dirección nor-oeste. **a) Falla de Cajitas:** se manifiesta principalmente en el Páramo de Sumapáz, al oriente de la localidad de Pasca, donde se han reportado rasgos de actividad neo tectónica. Ingres a la sabana, bordeando el flanco oriental del sinclinal de Soacha. Tiene un comportamiento inverso, de vergencia al occidente, que coloca a las formaciones Labor-Tierna, Plaeners y Arenisca Dura, sobre la Formación Guaduas. Desde el municipio de Soacha hacia el norte, queda cubierta por los depósitos cuaternarios, de la Sabana de Bogotá. **b) Falla de Sibaté:** Se ubica al oriente del municipio de Sibaté y determina un cambio morfológico, en el contacto del anticlinal de Soacha con el sinclinal de Sibaté. Su comportamiento es de falla inversa convergencia al Occidente. Esta falla pone rocas de la Formación Arenisca Dura o de la Formación Plaeners, sobre rocas de la Formación Labor – Tierna. Al norte del municipio de Soacha continua por debajo de los depósitos cuaternarios de la Sabana. **c) Falla de Santa Bárbara:** Se ubica al Suroccidente de la Sabana, entre la región de Mondoñedo y Soacha; también logra identificarse en las unidades del grupo Guadalupe. El trazo tiene dirección Suroriente-Noroeste, presentando movimiento trascurrente sinextral. Puede observarse en el municipio de Soacha, hasta la convergencia con las fallas de Cajitas, afectando al anticlinal de Mochuelo. El trazo de esta falla continua hasta

Mondoñedo, comportándose como una falla inversa, convergencia al suroccidente; con un importante componente trascurrente sinextral. ***“Esta falla dentro de su movimiento inverso repite parte de la secuencia del grupo Guadalupe y dentro del movimiento trascurrente sirve de despegue de los cabalgamientos de los sistemas de fallas de Mondoñedo y Soacha.*** “ La falla de Santa Bárbara, divide en dos bloques a los sectores de Mondoñedo y Soacha respectivamente. El bloque sur se caracteriza por ser montañoso, con estructuras en direcciones noreste, plegadas. El bloque norte, desarrolla fenómenos de cabalgamiento, convergencia al occidente y su comportamiento está relacionado con el ensanchamiento de la estructura de la Sabana. Esta falla representa el límite sur del altiplano de la Sabana de Bogotá. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.7 Sistema de Fallas del Tequendama: Este sistema está conformado por tres fallas inversas, ubicadas entre el embalse del Muña y el Salto de Tequendama, convergencia al occidente. Replican la secuencia de las unidades del grupo Guadalupe, Dura, Plaeners y Labor – Tierna. En algunos sitios cabalgan las rocas sobre la formación Guaduas. En el alto de San Miguel, se juntan y se asocian a la Falla de Santa Bárbara. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.8 Sistema de Fallas de Mondoñedo: Está formada al menos por cuatro fallas, que nacen de la falla de Santa Bárbara, hacia el Noroccidente, hasta el municipio de Bojacá afectando las rocas aflorantes en la región de Mondoñedo. Su salto vertical es el correspondiente a fallas inversas con vigencia al Occidente. Su movimiento es trascurrente sinextral. ***“Este movimiento combinado genera escamación tectónica y pliegues con buzamientos suaves de corta longitud (5 km.).”*** (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.9 Sistema de Fallas transversales: Se ha observado, que este tipo de fallas afectan las rocas pre-neógenas, como la falla de Neusa. Su comportamiento es el de una falla trascurrente sinextral, que desplaza las estructuras y da lugar al despliegue del Sistema de Fallas de Carupa y Santa Bárbara. También se muestra, como una falla trascurrente sinextral. En la localidad de Facatativá, se observan lineamientos de dirección Nor-oeste, cubriendo depósitos cuaternarios, pero discontinuo en la estructura longitudinal, por lo que se considera similar a la falla de Santa Bárbara. Otros sectores fallados pequeños, tienen conexión regional, como lo que ocurre con la Falla de El Salitre, que unifica la zona Zipaquirá, con la curvatura de la Falla de Chital, sobre la vía Zipaquirá – Pacho y la terminación del anticlinal de la Sabana de Bogotá. De igual manera se consideran otras fallas, en zonas terminales de estructuras o serranías, como la falla Rodadero o la falla de San Cristóbal que se trazan debajo de las unidades cuaternarias, asumiendo espesores diferentes a los depositados a los lados de la falla. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.10 Sinclinal de Río Frío: Ubicada al Noroccidente de Bogotá, su eje cruza al oriente por los municipios de Tabio y Tenjo. Tanto en el Sur como en el Norte, la falla es una

estructura amplia. El núcleo se localiza en las rocas de la Formación Bogotá, con depósitos fluvioglaciares y de coluvión, angostándose en la parte central por las entrantes, que hacen las unidades cretácicas, por medio de las fallas del Porvenir y Chital. Al sur del municipio de Tenjo, su continuidad se asocia con la terminación de la serranía de Tabio-Tenjo en el flanco occidental y a la serranía de Chía-Cota en el flanco oriental. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.11 Sinclinal de Subachoque: Se localiza al occidente de la Sabana, recorriendo el valle del río Subachoque, propalándose al sur del municipio de El Rosal, hasta el límite de la Sabana. Al norte, esta estructura hace un cierre estructural, subdividiéndose en dos, al norte muestra el flanco oriental normal, no ocurre lo mismo, con el flanco occidental, que se afecta por una falla inversa, convergencia al oriente. El sector sur, ubicado hacia el sur del municipio de Subachoque, cambia de orientación y su flanco oriental, esta deformado por la acción de la falla de Subachoque, mostrando capas invertidas, conformando el anticlinal de Caldas. En flanco occidental es menos deformable y su posición es normal. Las formaciones Guaduas y Labor-Tierna, se muestran en sus flancos y en su núcleo, brota la Formación Guaduas. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.12 Sinclinal de Sibaté: Está situada entre el municipio de Sibaté y el embalse del Muña. Su amplitud varía desde los 2.0 km al Sur hasta los 6.0km al Norte. El núcleo y sus flancos están ocupados mayoritariamente, por la Formación Labor-Tierna. Su flanco oriental, contra el anticlinal de Soacha, termina abruptamente, por medio de la Falla de Soacha. El flanco occidental también se deforma por estas fallas, pero en menor medida, igual ocurre con su deformabilidad. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.13 Anticlinal de Zipaquirá: Se sitúa en la parte norte de la Sabana de Bogotá, extendiéndose desde el límite norte, hasta el municipio de Zipaquirá en el sur, cruzando la carretera Cajicá – Tábio. El rumbo sufre variaciones menores, como consecuencia de las fallas de Zipaquirá y del Neusa. La falla del Neusa traslada el anticlinal en sentido sinetral por 3.0 km. El desarrollo de su núcleo se da, sobre las rocas de la Formación Conejo y en sus flancos, por las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor-Tierna y Guaduas. Al norte de la Falla del Neusa, el anticlinal de Zipaquirá termina en la Falla de Carupa. La estructura completa, puede identificarse únicamente, donde se cruza con la carretera Cajicá – Tábio. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.14 Anticlinal de Tabio: Esta anticlinal, se sitúa al noroccidente de la sabana de Bogotá, sobre la serranía de Tabio-Tenjo. Al norte, concluye sobre la Falla Chital y al sur muestra hundimiento, dentro de los depósitos neógenos de la Sabana. Por su cercanía al municipio de Tabio, por el norte y al municipio de Tabio al sur, se divide en dos, separada por la Falla de Subachoque. El anticlinal al norte es asimétrico con estratos verticales y en el flanco oriental tiene franjas invertidas, debido a la Falla de Chital. En su núcleo presenta rocas de la formación Conejo por efecto de un retro cabalgamiento de las

formaciones Labor-Tierna y Guaduas. En la parte sur se fragmenta, debido a las fallas asociadas de Subchoque y Chital. En su núcleo está la formación, Arenisca Dura y en sus flancos, las formaciones Plaeners y Labor-Tierna. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.15 Anticlinal de Mochuelo: Se localiza al occidente en la localidad de Usme y al sur de la Sabana de Bogotá. Este anticlinal, está muy fragmentado tectónicamente, a consecuencia de las fallas de Cajitas y Santa Bárbara principalmente. Por esta razón, el eje del pliegue, únicamente, puede trazarse por segmentos y asimismo, debido a la acción de estas fallas, se presentan otros pliegues sinclinales y anticlinales de menor importancia. Se tiene en cuenta el anticlinal de Mochuelo, desde el trazo principal de la Falla Cajitas al occidente, generando una morfología abrupta positiva, hasta el inicio del sinclinal de Usme al oriente. El núcleo, está constituido por la Formación Arenisca Dura y sus flancos, con las formaciones Plaeners y Labor-Tierna. (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

2.2.16 Anticlinal de Soacha: Se ubica al sur del municipio de Soacha, limitando tectónicamente por varias fallas, destacándose la Falla de Sibaté, que afecta el flanco occidental. Tiene un rumbo promedio NS, es asimétrico con los flancos muy verticales, en ocasiones invertidos. ***“En su núcleo aflora la Formación Chipaque y en sus flancos las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Labor-Tierna”*** (INGEOMINAS, Montoya & Reyes, 2005)

ANEXO 3

NORMALIZACION DEL MODULO DE CORTE Y AMORTIGUAMIENTO

A efecto de comprender estos procesos y en razón a que son variables muy importantes para este estudio, se menciona a continuación el trabajo denominado: “Normalized Shear Modulus and Material Damping Ratio Relationships”, realizado por Jianfeng Zhang¹; Ronald D. Andrus²; and C. Hsein Juang³. Tomado del *JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING © ASCE / APRIL 2005*.

Las ecuaciones predictivas para la estimación del módulo de corte normalizado y la relación con el material y la amortiguación, se han basado en un modelo hiperbólico modificado y en un análisis estadístico, en el caso de no existir datos de ensayos de Columna Resonante y resultados de las pruebas de torsión y cortante. Las variables mayormente utilizadas en las ecuaciones para describir el módulo de corte normalizado son: La amplitud calculada en la curva corte-deformación; la tensión de confinamiento y el índice de plasticidad IP. Las ecuaciones para relacionar el amortiguamiento se expresan, en términos de una función polinómica, que incluye el módulo de cortante normalizado más un coeficiente mínimo de amortiguamiento. Se ha encontrado que en los suelos de origen cuaternario, se presenta más linealidad que en los suelos de otros orígenes. También, se observó que el efecto del índice plástico IP, en el comportamiento dinámico del suelo, no es tan importante como se pensaba. *Jianfeng Zhang et al. (2005)*

Los datos básicos y necesarios, para el análisis de la respuesta sísmica del suelo, incluyen la estimación de su rigidez y la valoración del amortiguamiento del material, para cada una de las capas de suelo analizado. La rigidez del suelo puede valorarse por cualquiera de las velocidades de onda de corte o módulo de cortante. La pequeña deformación producida por la velocidad de las ondas de corte V_s , está directamente relacionada con la pequeña tensión producida por el módulo de cortante G_{max} , según la siguiente relación:

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad E - 2.11$$

ρ = Es la densidad de la masa de suelo (unidad de peso total del suelo dividido por la aceleración de la gravedad).

En el rango de esfuerzos moderados a altos, el módulo de cortante secante G , se utiliza para representar la rigidez del suelo promedio. La relación entre G_{max} , G , γ (la deformación por cortante), y el esfuerzo por cortante (τ) se ilustra en la figura siguiente:

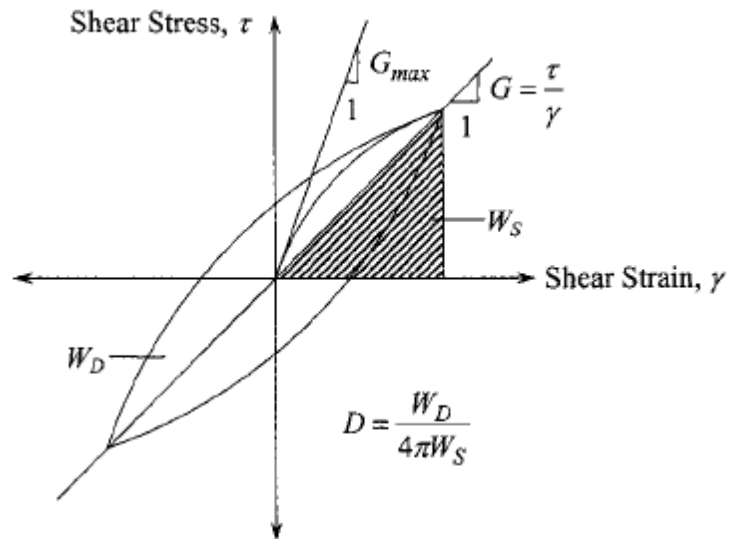


Figura 1, Ciclo de histéresis para un ciclo de carga, se muestra G_{max} , G y D , (tomada del trabajo de Jianfeng Zhang et al. (2005))

En la figura 1, también se ilustra la relación entre el ciclo de histéresis de tensión-deformación para un ciclo de carga y el factor de amortiguamiento material. El coeficiente de amortiguamiento del material D , representa la energía disipada por el suelo. El mecanismo que contribuye esencialmente a la amortiguación del material, corresponde principalmente a la fricción entre las partículas del suelo y al efecto de la velocidad de deformación no lineal, en el comportamiento del suelo. El coeficiente de amortiguamiento de histéresis puede calcularse como:

$$D = \frac{W_D}{(4\pi W_S)} \quad E - 2.12$$

W_D = energía disipada en un ciclo de carga

W_S = máxima energía de deformación almacenada durante el ciclo.

Como se indica en la figura, el área dentro del bucle de histéresis es W_D y el área del triángulo es W_S . Teóricamente, no debería haber ninguna disipación de energía en el rango elástico lineal, para el modelo de amortiguamiento de histéresis definido por la ecuación E-2.12. Sin embargo, incluso en los niveles más bajos de esfuerzo, existe siempre un cierto grado de disipación de energía, que se puede medir en las muestras en el laboratorio. El coeficiente de amortiguamiento para estos niveles bajos de esfuerzo, es un valor constante, que se conoce como "the small-strain damping ratio" D_{min} . En el caso de esfuerzos no lineales, la relación esfuerzo-deformación, conduce a un incremento en la relación del amortiguamiento del material, correspondiente a un aumento en la amplitud de la deformación. En la actualidad, para la obtención de G y D , para los análisis de respuesta del suelo, son necesarios los siguientes cálculos: 1) Estimar o medir la velocidad

de onda V_S en el campo. 2) Evaluar o medir la variación de G y D con γ (deformación por corte), en el laboratorio. Las mediciones del G/G_{max} y D , en el laboratorio, pueden ser costosas de hacer; estas pruebas de laboratorio suelen hacerse únicamente a suelos inusuales o especiales y para proyectos muy importantes. También es una práctica común normalizar G , dividiéndola por G_{max} . Un gráfico de la variación de G/G_{max} versus γ , se denomina curva de reducción del módulo normalizado. El propósito de mostrar el resultado del trabajo, "*Normalized Shear Modulus and Material Damping Ratio Relationships*" de Jianfeng Zhang; Ronald D. Andrus; y C. Hsein Juang, es la de presentar un procedimiento alternativo, para la estimación de la variación del G/G_{max} y D con γ , para arena y suelos arcillosos, aplicados a los tres grupos de edades geológicas generales. Este método fue desarrollado originalmente por, Andrus et al. (2003) y la disertación por Zhang (2004). El procedimiento está basado, en el análisis estadístico de los archivos, de las pruebas de laboratorio existentes, en los estados de Carolina del Sur, Carolina del Norte y Alabama. Aun cuando el procedimiento fue desarrollado originalmente para el Sur de Carolina, se infiere que también puede aplicarse a otras áreas del mundo, con suelos similares.

Se han realizado muchos estudios para caracterizar los factores que afectan G/G_{max} y D en los suelos. Dentro de los factores más importantes que afectan a G/G_{max} , se incluyen la deformación por cortante γ , el esfuerzo de confinamiento (σ'_m), y el Índice de Plasticidad (IP). Otros factores que también afectan el valor de G/G_{max} , pero parecen ser menos importantes, son según Darendeli (2001): La frecuencia de la carga, el número de ciclos de carga, la relación de sobre consolidación, la relación de vacíos, el grado de saturación y las características del grano. En general, las curvas G/G_{max} , se degradan más lentamente, conforme γ , σ'_m y el IP, aumentan. Los suelos con índices plásticos IP bajos, son más susceptibles de afectarse por σ'_m que los suelos con alto IP. Stokoe et al. (1995), afirma que agrupar los datos por eras geológicas puede ser un método eficaz para tener en cuenta los factores menos importantes. Los factores más importantes que afectan a D , son: La deformación por cortante γ , σ'_m , el tipo de suelo y el IP, la frecuencia de la carga, y el número de ciclos de carga. Con el aumento de σ'_m , D tiende a disminuir, para todas las amplitudes de deformación.

El efecto del IP en D es bastante complejo, sin embargo, Eprí (1993), Stokoe et al. (1994) y Vucetic et al. (1998), encontraron que los valores de D_{min} aumenta con el aumento del índice plástico (IP), mientras que los valores de D , disminuyen con el aumento del IP. Como lo explica Stokoe et al. (1995), el problema radica en las mediciones de D en el laboratorio, donde se constató que obedecen principalmente a la pérdida de energía relacionada con el equipo. Este efecto debe tenerse en cuenta en la ponderación de los valores medidos, para obtener el valor correcto de D . Además, también se ha sugerido que el valor de D , debe obtenerse de la medición de las frecuencias y el número de ciclos de carga, similares a los obtenidos en las cargas cíclicas, para tener en cuenta los efectos mencionados. Las muestras de ensayo se obtuvieron a profundidades que variaron entre

los 0.60m y los 326 m; de las cuales el 50%, de las 122 muestras, son a profundidades menores de 10 m.

Alrededor del 72 % de las muestras fueron tomadas a profundidades inferiores a los 30m. La mayoría de los especímenes se ensayaron con los mismos niveles de confinamiento σ'_m . Los valores del índice plástico IP, son conocidos para 101 de las 122 muestras de ensayo y variaban entre el 0 y el 132%. Muestras no plásticas, donde el índice plástico (IP=0), representan el 35 % de las muestras recopiladas. Alrededor del 73% de las muestras tienen valores de IP inferiores al 30%; sólo aproximadamente el 10% de los especímenes tienen valores de IP mayores al 30%, con sólo un espécimen se tuvo un IP, mayor que el 100 %. Con relación a la distribución de las muestras, respecto a la edad geológica, de las 122 muestras, 8 son del Cuaternario, (menos de 1,8 millones de años); y 66 son de la era Terciaria, (1.8 a 65 millones de años); entre la edad cuaternaria, 8 especímenes, 4 de sedimentos naturales en Charleston y 4 del terraplén en RBRD.

Dos de las muestras son de la era Terciaria, correspondientes a la Formación Ashley debajo Charleston, SC. Los 64 especímenes SRS son de distintas constituciones de la edad Terciaria y mayores. Los otros 48 especímenes son de suelo residual y los depósitos de saprolita de la provincia de Piamonte. Estos depósitos se formaron por la erosión de las rocas ígneas y metamórficas. Los suelos residuales son ricos en material arcilloso, resultante de los residuos de la degradación completa de la roca y los saprolitas que son producto de la descomposición de la roca, pero sin acumulación de arcilla. No se conoce el tiempo de la deposición que pudo haberse dado en la formación de los suelos residuales/saprolita, porque se formaron en su lugar. La agrupación de los datos de prueba, por edad geológica, también parece tener en cuenta alguna de las variaciones observadas.

De otra parte, los modelos hiperbólicos han sido ampliamente utilizados, para describir la no linealidad del comportamiento del suelo, bajo cargas cíclicas, por ejemplo, Hardin y Drnevich (1972); Pyke (1993); Stokes et al. (1999). El modelo hiperbólico utilizado por Harden y Drnevich (1972a), asume que la curva esfuerzo deformación del suelo, pueda ser representada por una hipérbola asintótica al máximo esfuerzo de corte, (τ_{max}). Una limitación de este modelo de curva hiperbólica, es su mal ajuste con los datos de ensayo, ya que sólo implica una variable de ajuste de curvas, llamada esfuerzo de referencia. Mejorando el ajuste a los datos de ensayo, se puede obtener un modelo hiperbólico transformado, tal como el sugerido por Stokoe et al. (1999)

$$\frac{G}{G_{max}} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{\gamma}{\gamma_r}\right)^\alpha\right]} \quad E - 2.13$$

γ_r = esfuerzo de referencia.

α = segunda variable de ajuste de curvas, llamada parámetro de curvatura.

La variable γ_r , en la ecuación E-2.13, corresponde al esfuerzo cortante, cuando $G/G_{\max}=0.50$; diferente a la definición de los esfuerzos de referencia (G_{\max}/τ_{\max}), utilizada por Hardiny Drnevich (1972a). La ecuación E-2.13 se adopta en este estudio, como modelo de variación de G/G_{\max} , con γ . Los valores de α y γ_r , que proporcionan los mejores ajustes en la ecuación E-2.13, con los datos de ensayo compilados, se determinaron mediante regresión múltiple. Se utilizaron en el análisis de regresión, sólo datos de G/G_{\max} , medidos a 0.75 o menos, para reducir los errores debidos a las grandes extrapolaciones y en aras de la simplicidad, α se asume independientemente del σ'_m calculando los valores de α separadas por edad geológica, tal como se muestran en la figura 2.

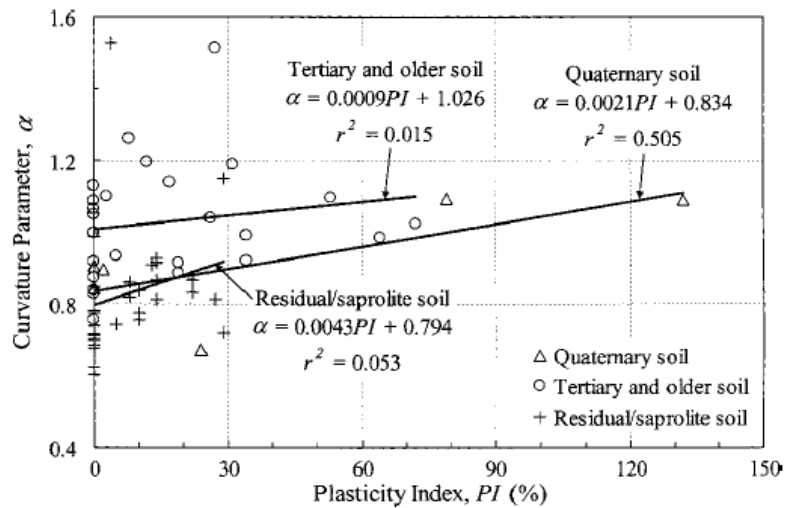


Figura 2, relaciones entre el Limite plástico y el parámetro α , tomado del Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © ASCE / April 2005

Un valor muy alto de α (2.30), calculado para un suelo residual/saprolita, no se muestra en la figura 2, ya que estadísticamente es muy diferente de los otros valores graficados. Dado que los valores de γ_r pueden variar significativamente con σ'_m , se asumió mediante la siguiente relación, según (Stokoe et al. 1995):

$$\gamma_r = \gamma_{r1} \left(\frac{\sigma'_m}{P_a} \right)^k \quad E - 2.14$$

Dónde: γ_{r1} = Esfuerzo hallado, a un esfuerzo de confinamiento medio efectivo de 100 kPa; P_a es el esfuerzo de referencia, tomado como 100 kPa y k el exponente para corregir la relación de esfuerzos.

El esfuerzo medio, σ'_m , efectivo de confinamiento, se calcula como:

$$\sigma'_m = \frac{(\sigma'_v + 2\sigma'_h)}{3} = \frac{\sigma'_v(1 + 2K'_0)}{3} \quad E - 2.15$$

Dónde: σ'_v =Esfuerzo vertical efectivo; σ'_h =Esfuerzo horizontal efectivo; y $K'_0 = \sigma'_h/\sigma'_v$, definido como el coeficiente de los esfuerzos efectivos de la tierra en reposo. Los valores de K , se determinan mediante la combinación de las ecuaciones E-2.13 y E-2.14, y la realización de la regresión a los resultados de las muestras sometidas a diferentes esfuerzos de confinamiento, utilizando la ecuación resultante. El valor de k , separado por eras geológicas, se muestra en la figura 3

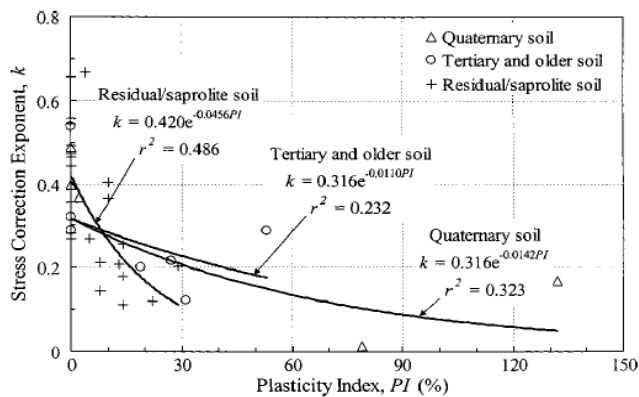


Figura 3, relación entre el índice plástico IP y el parámetro K, tomado del Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © ASCE / April 2005

Los datos graficados indican que k disminuye a medida que aumenta el índice plástico IP, para los tres grupos, lo que concuerda con los hallazgos de Iwasaki et al. (1978) y Kokusho et al. (1982). Utilizando curvas de mejor ajuste para k y la ecuación E-2.14, los valores de γ_{r1} , se calcularon para cada muestra de prueba, con medidas G/G_{max} menores a 0.75 y σ'_m menor a 400 kPa, el requerimiento de σ'_m es adoptado para reducir los errores debidos a las grandes extrapolaciones. Los valores calculados de γ_{r1} , separados por eras geológicas se muestran en la figura 4.

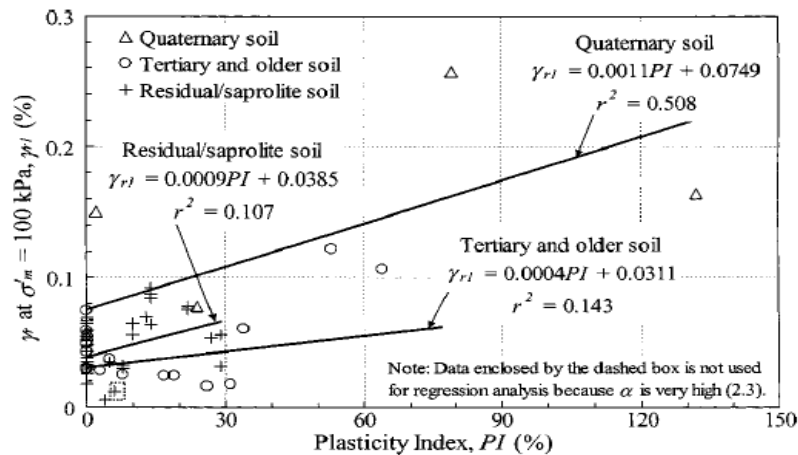


Figura 4, relación entre el índice plástico IP y γ_{r1} , tomado del Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © ASCE / April 2005

En la figura 4, también se muestran gráficamente en la figura, las líneas de mejor ajuste para los tres grupos de eras. De otra parte se llevaron a cabo análisis estadísticos adicionales de los valores γ_{r1} para tener en cuenta los efectos del contenido de humedad (w), el grado de saturación S , y el coeficiente de uniformidad C_u . Se demostró que no hay efecto significativo del contenido de humedad w , en los valores de γ_{r1} en el grupo del suelo Cuaternario. Por otro lado, se halló una influencia fuerte de w , en los valores γ_{r1} , en el grupo del suelo terciario y mayores, así como el efecto en el grupo, residual suelo/saprolita. Sin embargo, una fuerte correlación entre w y el índice plástico IP, también se encontró, cuando el aumento de w coincide con el aumento del IP.

Para el grupo residual del suelo/saprolita, gran parte de la variación presente puede ser explicada con sólo el IP. Para el grupo de suelo terciario y mayores, gran parte de la variación se puede explicar con sólo la humedad natural w . Al rededor del 90% de los especímenes, tienen contenidos de humedad entre el 5 y el 50 %. En cuanto a la saturación S , se pudo determinar que su efecto sobre γ_{r1} , no es significativo para el suelo Cuaternario y los grupos de suelos residuales/saprolita. Para el Grupo de suelo terciario y mayores, los residuos de γ_{r1} , exhiben un incremento con el aumento de la saturación S . Alrededor del 90% de las muestras tienen valores de grado de saturación entre el 40 y el 100 %, y el índice líquido varía entre valores de -2.0 y 2.0.

En lo concerniente al índice de uniformidad C_u , se estableció que su efecto sobre γ_{r1} , es pequeño y no tan significativo como el efecto de σ'_m y el IP para los tres grupos. La mayoría de las muestras de ensayo con $IP=0$, tienen valores de C_u entre 1 y 60, y se clasifican como SP, SP-SM, SM, SM-ML y ML por el Sistema de Clasificación de Suelos unificada. Debido a lo anterior los valores de w , S , y C_u no son necesarios para explicar las variaciones de los valores γ_{r1} , para al menos dos de los tres grupos de suelos, lo que facilita la comparación entre las curvas G/G_{max} , sólo el IP está incluido en las ecuaciones

para γ_{r1} . Se hace necesario realizar pruebas adicionales, de laboratorio, para cuantificar adecuadamente los efectos reales de w , S , y C_u . Los valores de G/G_{max} calculados utilizando las ecuaciones E-2.13 y E-2.14 se compararon con los valores medidos y se presentan en la figura 5.

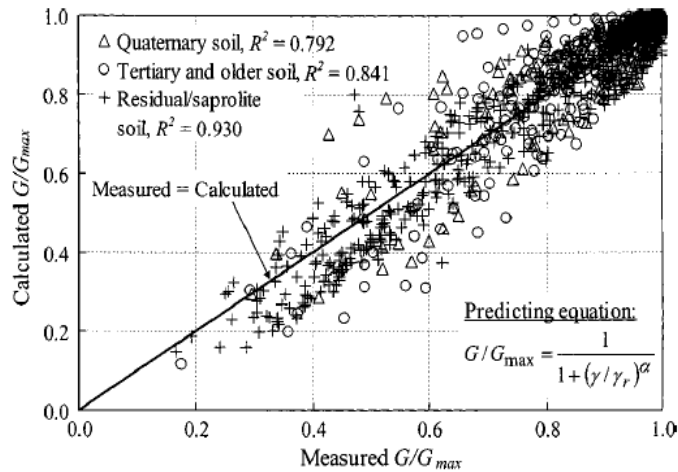


Figura 5, comparación entre las mediciones y los valores calculados de G/G_{max} , tomado del Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © ASCE / April 2005

Los datos correspondientes a las mediciones, trazados y distribuidos uniformemente sobre la línea calculada con las ecuaciones E-2.13 y E-2.14, que arroja múltiples valores de R^2 , comprendidos entre guarismos que van desde 0.792 a 0.93, para los tres grupos. En la interpretación de estos Valores de R^2 , un punto a tener en cuenta, es que la mayoría de los datos de G/G_{max} , se concentran alrededor del 0,80 a 1,0; donde se advierte que el error es muy pequeño debido a la normalización. Como resultado, los valores de R^2 no pueden reflejar por completo las bondades del ajuste en el modelo, sugerido a valores más bajos de G/G_{max} . La incertidumbre asociada a las ecuaciones E-2.13 y E-2.14 se discute más adelante en el documento.

3.1 RELACIONES DE AMORTIGUAMIENTO: Un enfoque para modelar D , se relaciona con G/G_{max} . La ventaja de este enfoque, es la definición de D , que es más difícil de medir con precisión, mediante la deducción sobre los valores de G/G_{max} . Varios investigadores han estudiado las relaciones entre G/G_{max} y D , entre ellos Hardin y Drnevich (1972a), asumiendo que D es proporcional a $1-G/G_{max}$. Otros, por ejemplo, Ishibashi y Zhang (1993); Borden et al. (1996), asociaron a D con G/G_{max} utilizando una expresión polinómica. Sin embargo ninguno de estos modelos, refleja la compleja relación entre el IP y D . Pyke (1993), desarrollo un programa informático para calcular D , basándose en la curva γ_r , utilizando un modelo hiperbólico y la D_{min} , medida en el laboratorio. Darendeli (2001) y Stokoe et al. (2004), modelando el amortiguamiento, presumieron un comportamiento de histéresis y una función de ajuste para adaptarse a la amortiguación

con los datos experimentales, y luego añadir un término D_{min} para obtener el total de la amortiguación. La ecuación de amortiguación general adoptada es:

$$D = f\left(\frac{G}{G_{max}}\right) + D_{min} \quad E - 2.16$$

$$f\left(\frac{G}{G_{max}}\right) = \text{Es la función del módulo de corte normalizado}$$

El desarrollo de las relaciones de mejor ajuste para D_{min} y $f\left(\frac{G}{G_{max}}\right)$ o D mínimo, D_{min} , se presentan en la figura 6:

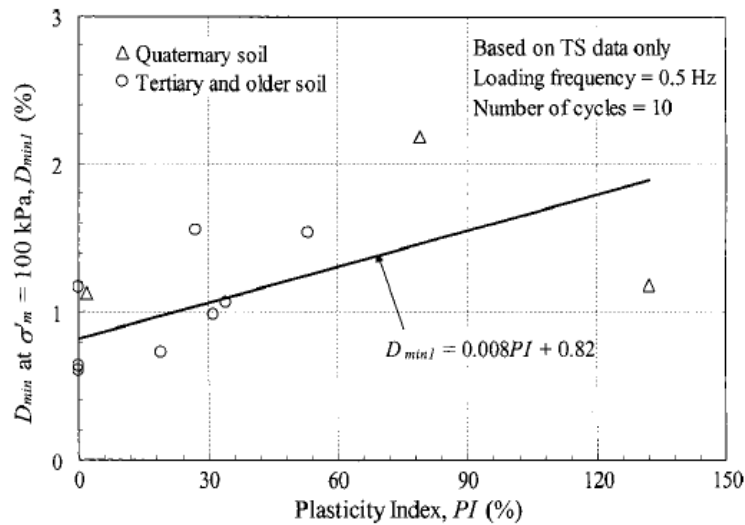


Figura 6, Relación entre el índice de plasticidad IP y D_{min} 1 tomado del Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © ASCE / April 2005

Donde se observa una posible relación lineal entre el IP y la pequeña deformación de amortiguamiento, cuando σ'_m es del orden de 100 kPa, (D_{min} 1). Sólo los datos de TS se incluyen en la figura 6 porque la frecuencia de carga cíclica (0.50 Hz) y el número de cargas cíclicas (10), utilizadas en las pruebas de TS son más similares a la carga sísmica típica, mientras que las demás pruebas de RC son generalmente mucho más altas. Los datos TS y SRS son de Charleston. No hay pruebas de TS, se realizaron a las muestras en los sitios RBRD y Alabama. Aun cuando se realizaron Pruebas TS, sobre muestras de Carolina del Norte, los resultados se presentaron en forma gráfica, que son más difíciles de leer o las pruebas se llevaron a cabo con niveles de esfuerzo demasiado altos para D_{min} , razón por la cual no se presentan en la figura 6; debido a los limitados datos de D_{min} y TS disponibles, se consideran como un grupo. La relación lineal se puede expresar como:

$$D_{min1} = a(PI) + b \quad E - 2.17$$

Donde a y b = son parámetros de ajuste iguales aproximadamente a 0.008 y 0.82 respectivamente. La siguiente ecuación se utiliza para convertir $D_{min 1}$ a D_{min} para que σ'_m no sea superior a 100 kPa (modificado por Stokoe et al. 1995).

$$D_{min} = D_{min 1} \left(\frac{\sigma'_m}{P_a} \right)^{-\frac{k}{2}} \quad E - 2.18$$

Donde k = Es el mismo exponente utilizado en la ecuación E-2.14

Los valores $D - D_{min}$ para todos los datos de las pruebas recopiladas son representados gráficamente frente a los correspondientes valores de G/G_{max} y agrupados por el método de ensayo en la figura 7.

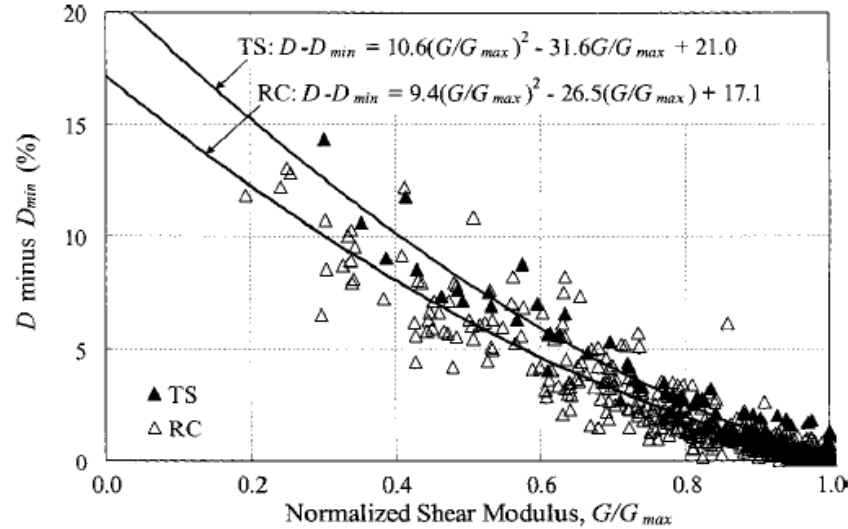


Figura 7, Relación entre G/G_{max} y $D - D_{min}$, tomado del Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © ASCE / April 2005

También se muestra en la figura 7, el mejor ajuste de las curvas, para las mediciones realizadas por los dos métodos de ensayo. Se observa que en promedio, la trama de datos RC, está por debajo de los datos de TS. Esta diferencia puede explicarse por el hecho de que el TS, para probar la frecuencia de la carga cíclica, se mantiene constante, como amplitud de deformación en aumento; mientras que en la prueba RC disminuye la frecuencia de la carga. Por ejemplo, en RC se prueban las frecuencias de carga en G/G_{max} , entre valores de 0.5 y 0.2, que son aproximadamente un 30% y un 55 % menor respectivamente, que la frecuencia de carga en G/G_{max} de 1,0. A diferentes frecuencias de ciclos de carga, diferentes cantidades de medición, relacionadas con el equipo y el amortiguamiento resultante. Por lo tanto, los datos de prueba $D - D_{min}$ y RC son dependientes de la frecuencia. Por esta razón, la curva de ajuste óptimo está basada en los datos de prueba TS, que es la relación preferida. La curva de mejor ajuste entre los valores de la prueba de TS, G/G_{max} y $D - D_{min}$ se expresa como:

$$D - D_{min} = f\left(\frac{G}{G_{max}}\right) = 10.6\left(\frac{G}{G_{max}}\right)^2 - 31.6\left(\frac{G}{G_{max}}\right) + 21.0 \quad E - 2.19$$

La ecuación E-2.19 es diferente a la ecuación cuadrática, propuesta por Ishibashi y Zhang (1993), que se basaba únicamente en D , y no en $D-D_{min}$ y se amplificaba mediante un exponente, basado en el IP. El exponente de índice plástico IP no se incluye en la ecuación E-2.19, debido a que los datos representados en la figura 7 tienen poca dependencia de la plasticidad. Aunque mucho más simple que la de Darendeli (2001) y Stokoe et al. (2004), basada en el amortiguamiento, esta ecuación tiene factores de ajuste a la E-2.19, que parece modelar adecuadamente los datos TS. La ecuación E-2.19 es igual a 0, y D es igual a D_{min} , cuando el valor de G/G_{max} es igual a 1, para pequeñas deformaciones. Cuando el valor de G/G_{max} vale cero 0, para deformaciones muy grandes, el valor máximo predicho para $D-D_{min}$ es del orden del 21%. Las ecuaciones E-2.16 y E-2.19 constituyen las relaciones recomendadas para hallar D . Los valores de atenuación del material, calculados usando estas ecuaciones se comparan con los valores de medición de prueba TS en la figura 8. Los datos representados se distribuyen de manera uniforme sobre la "datos medidos= línea calculada", con valores de R^2 calculados, que van desde 0.804 a 0.882 para los tres grupos de edad.

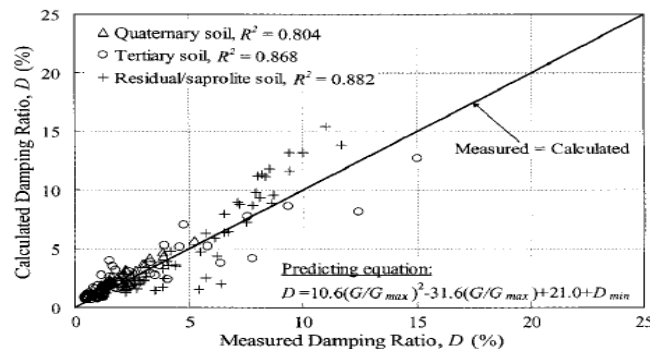


Figura 8, Comparativo de D medido y calculado para compilar datos de cortante torsional, tomado del Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering © ASCE / April 2005

Debido a que la mayor parte de los datos de amortiguamiento se concentran entre 0 y 5 %, los valores de R^2 no reflejan la bondad del ajuste recomendado a la ecuación, con valores mayores de D . En la Tabla 2 se enumeran los valores de α , k , γ_{r1} , y $D_{min 1}$, que definen las relaciones recomendadas para los tres grupos de edad y varios índices plásticos IP. Estos valores de α , k , γ_{r1} y $D_{min 1}$ se basan en las curvas de mejor ajuste que se mostraron en las figuras 2, 4 y 6 respectivamente.

Tabla 2. Valores medios recomendados de α , k , γ_{r1} y $D_{\min 1}$ a $\sigma'_m=100$ kPa

Geologic age	Number of specimens	Variable	Plasticity index, (PI)						R^2
			0	15	30	50	100	150	
Quaternary	8	α	0.83	0.87	0.90	0.94	1.04	1.15 ^a	G/G_{\max} : 0.792 D : 0.804
		k	0.316	0.255	0.207	0.156	0.077	0.038 ^a	
		γ_{r1} (%)	0.075	0.092	0.108	0.130	0.186	0.241 ^a	
		$D_{\min 1}$	0.82	0.94	1.06	1.23	1.63	2.04 ^a	
Tertiary and older	66	α	1.03	1.04	1.05	1.07	1.11 ^a	— ^c	G/G_{\max} : 0.841 D : 0.868
		k	0.316	0.268	0.227	0.182	0.105 ^a	—	
		γ_{r1} (%)	0.031	0.037	0.043	0.051	0.072 ^a	—	
		$D_{\min 1}$	0.82	0.94	1.06	1.23	1.63 ^a	—	
Residual/saprolite soil	48	α	0.79	0.86	0.92	1.01 ^a	—	—	G/G_{\max} : 0.930 D : 0.882
		k	0.420	0.212	0.107	0.043 ^a	—	—	
		γ_{r1} (%)	0.039	0.053	0.067	0.086 ^a	—	—	
		$D_{\min 1}$	0.82 ^b	0.94 ^b	1.06 ^b	1.23 ^b	—	—	

^aTentative value; extrapolated from the range of available test data.

^bTentative value; no small-strain torsional shear damping measurements available.

^cLittle or no data available.

La tesis de Jianfeng Zhang et al. (2005), recomienda utilizar las curvas de σ'_m para valores de 100 kPa. Además, los datos tomados del análisis de los ensayos, se cambiaron a valores de σ'_m de 100 kPa. De otra parte los valores de G/G_{\max} se convierten a través de la corrección de γ_r , utilizando la ecuación E-2.14. Los valores de D se convierten utilizando la ecuación E-2.16 y los valores corregidos de G/G_{\max} con la ecuación E-2.19. El valor de σ'_m correspondiente a 100 kPa, se utiliza, debido a que las curvas de Vucetic y Dobry (1991), y las de Seed et al. (1986), se basaban principalmente en especímenes de poca profundidad (<10 m) y son los valores más apropiados para los bajos niveles de confinamiento, correspondiendo a profundidades superficiales, (Roblee y Chiou 2004).

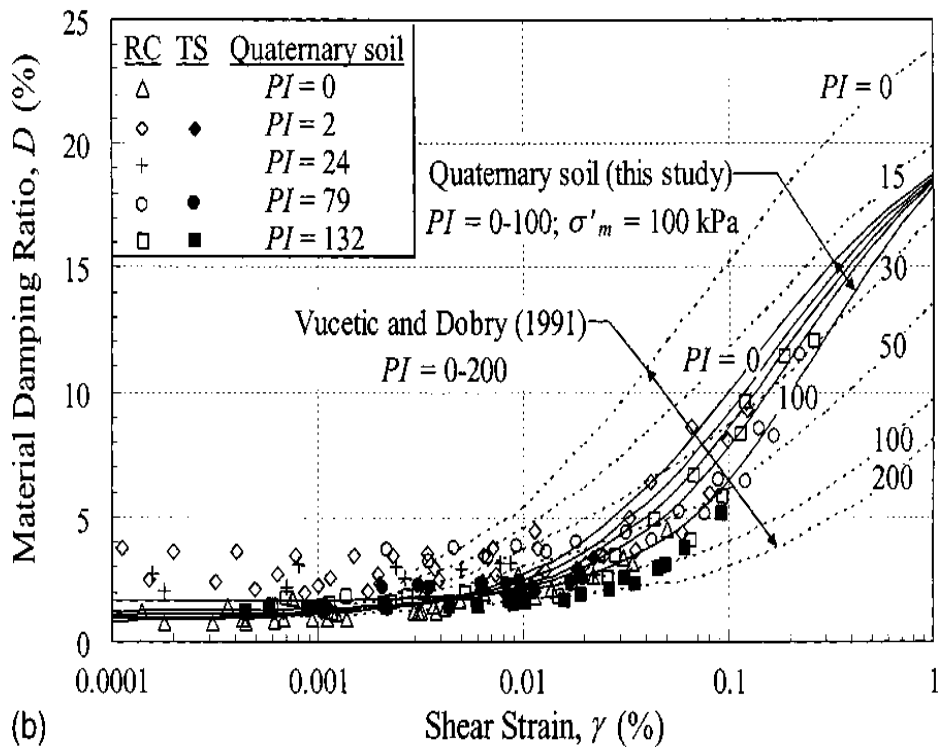
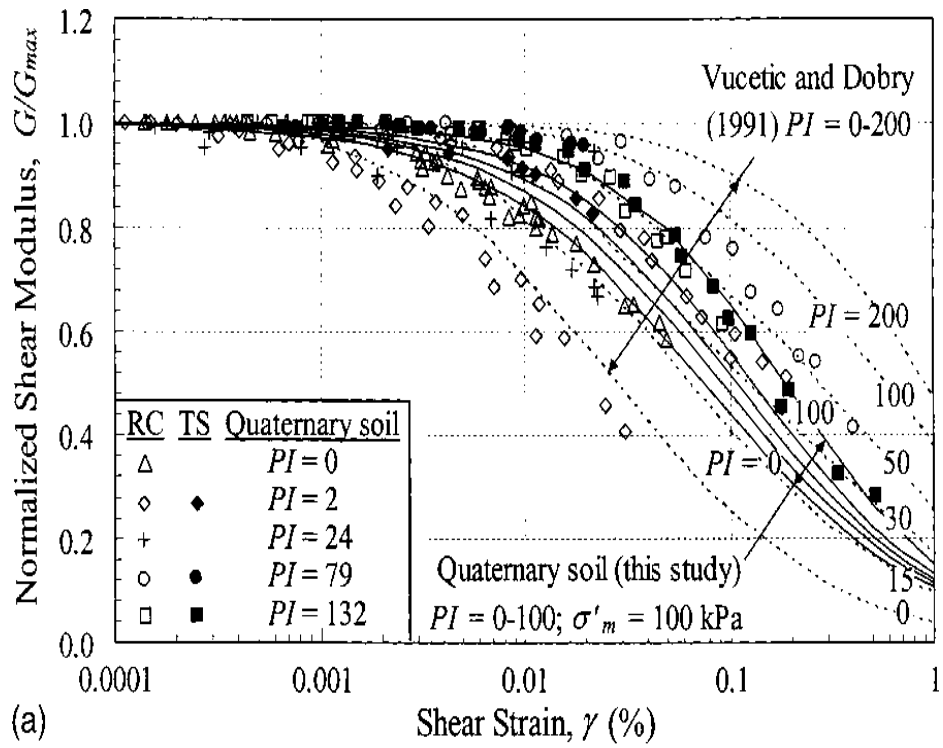
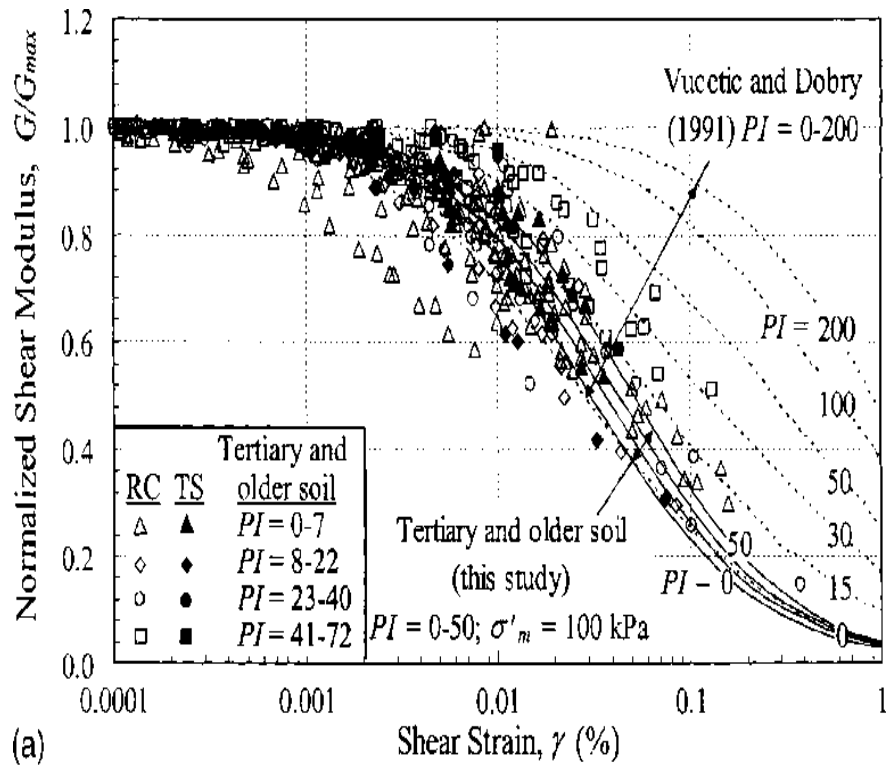
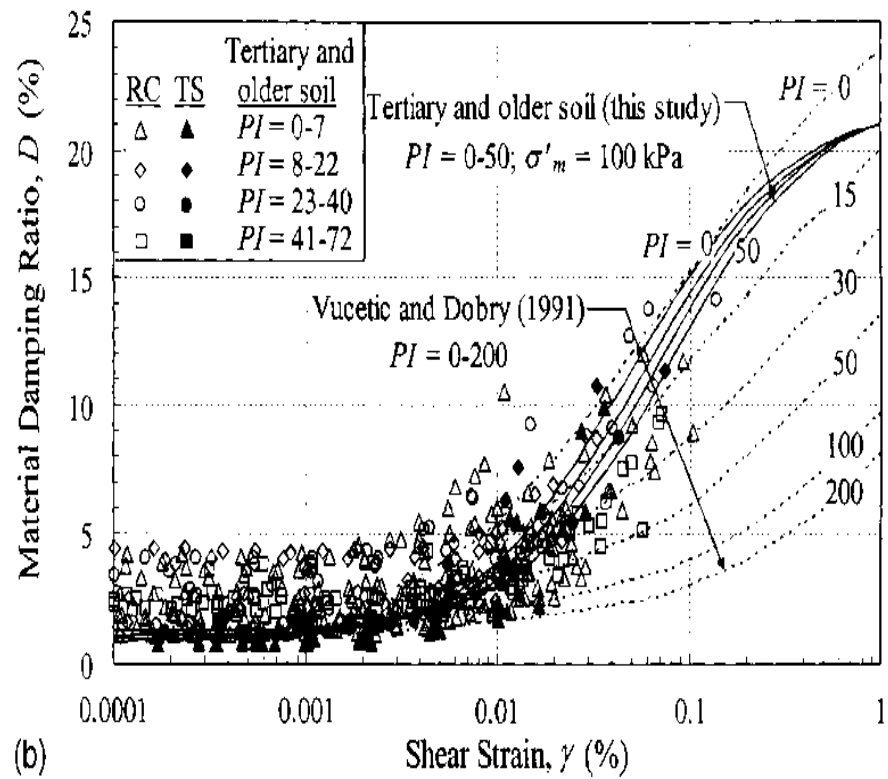


Fig. 11. Comparison of compiled data and recommended; (a) $G / G_{max} - \log \gamma$ curves and (b) $D - \log \gamma$ curves for Quaternary-age soil with curves by Vucetic and Dobry (1991)



(a)



(b)

Fig. 12. Comparison of compiled data and recommended: (a) $G/G_{max} - \log \gamma$ curves and (b) $D - \log \gamma$ curves for Tertiary-age and older soil with curves by Vucetic and Dobry (1991)

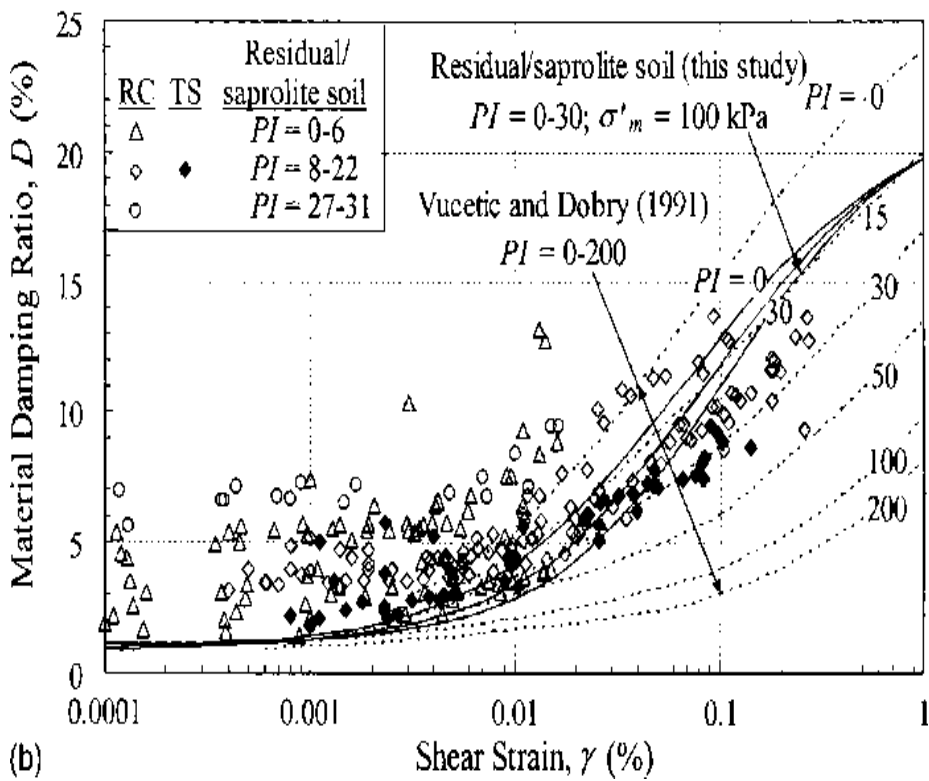
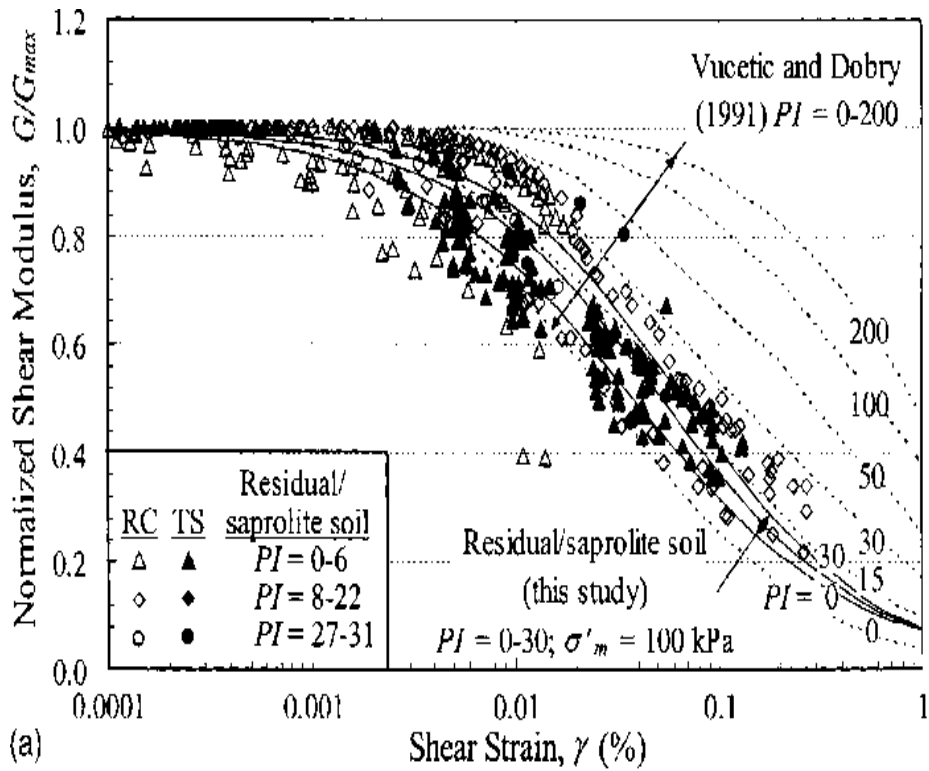


Fig. 13. Comparison of compiled data and recommended: (a) $G / G_{max} - \log \gamma$ curves and (b) $D - \log \gamma$ curves for residual/saprolite soil with curves by Vucetic and Dobry (1991)

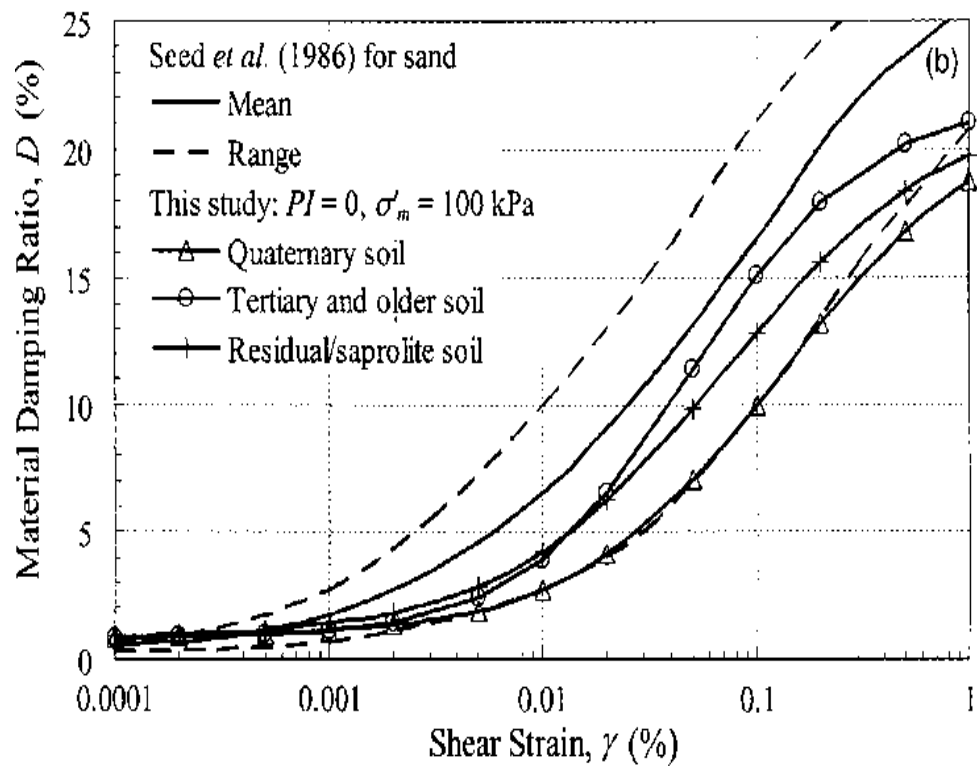
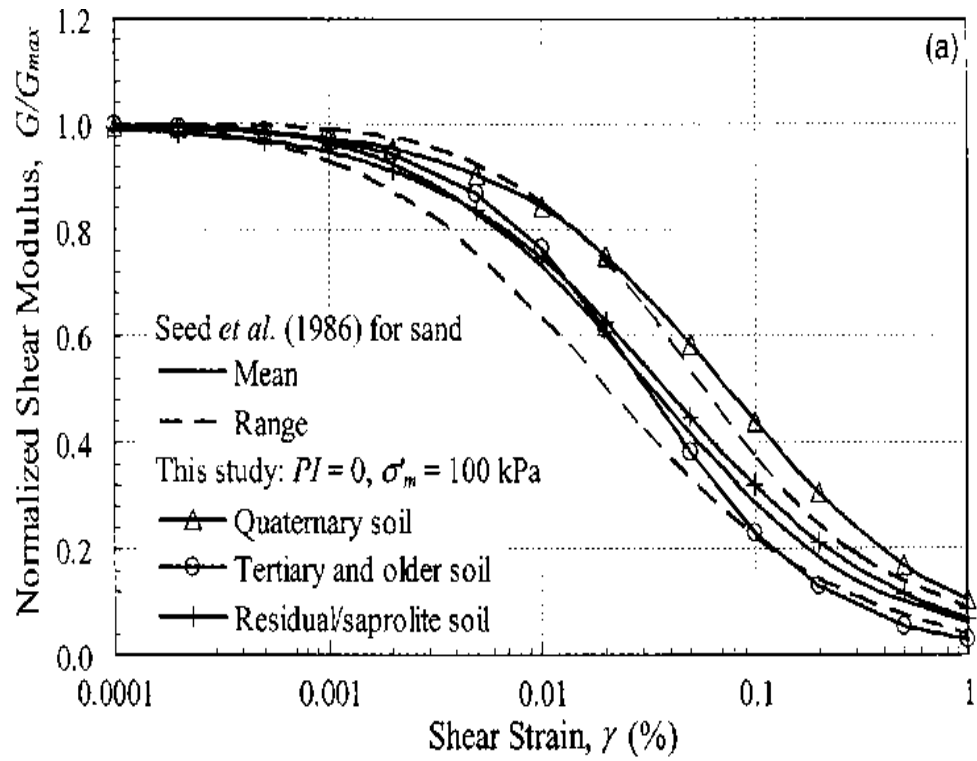


Fig. 14. Comparison of recommended: (a) $G / G_{max} - \log \gamma$ curves and (b) $D - \log \gamma$ curves for Plasticity index = 0 soil at $\sigma'_m = 100$ kPa with curves by Seed *et al.* (1986) for sand

Como se muestra en las Figuras 11, 12 y 13 las curvas recomendadas G/G_{\max} para diferentes rangos de PI, (rangos=0-100), son inferiores a las correspondientes a Vucetic y Dobry (1991). Esta observación sugiere que el efecto del PI, en los tres conjuntos de datos, no es tan importante como se pensaba y generalmente está de acuerdo con los resultados de Stokoe et al. (2004), donde también se muestran curvas que abarcan rangos más estrechos de γ . La curva recomendada para suelos cuaternarios con PI=0, se encuentra cerca de la de Vucetic y Dobry (1991), curva para PI=15. La curva recomendada para suelo terciario y mayores y suelo residual/saprolita con PI=0, son similares a las de Vucetic y Dobry (1991), para una curva con PI=0. En la Figura 11(b), 12(b) y 13(b), Las curvas “D” recomendadas para PI=0-100, también abarcan rangos de γ , que son más estrechos que los de Vucetic y Dobry (1991), correspondientes a curvas para un valor dado de “D”.

Las curvas “D” para el Cuaternario y los suelos residuales/saprolita con PI=0, se encuentran significativamente más bajos que los de Vucetic y Dobry (1991), para curvas con PI=0, con las curvas de suelos cuaternarios muestreadas y con los valores más bajos de “D” en las familias de alto cortante. Algunas de las diferencias entre las curvas desarrolladas en este estudio y las de Vucetic y Dobry (1991), corresponden a curvas de moderada a alta, que pueden explicarse por los efectos de confinar el esfuerzo y la edad, así como la incertidumbre manifiesta en todos los conjuntos de datos de prueba. Las discrepancias significativas en los pequeños niveles de esfuerzo, entre el curvas recomendadas “D” y las mediciones de prueba RC, se deben principalmente al hecho, de que los valores D_{\min} de las curvas, sólo se basaron en D_{\min} de la Datos de TS, que se miden en frecuencias mucho más bajas que la de los datos RC.

Las discrepancias con los datos de amortiguación de prueba RC disminuyen al aumentar el esfuerzo. Las diferencias entre los PI=0 y las curvas desarrolladas para la tres grupos de edad, se observan con mayor claridad en la figura 14. También se presentan en la figura 14, las curvas propuestas por Seed et al. (1986) para arena. Se puede ver en la figura 14(a) que la curva G/G_{\max} para Suelo-Cuaternario sigue a la de Seed et al.(1986), en el rango de la curva, mientras que las curvas recomendadas para los mayores grupos de suelo generalmente siguen a la curva de Seed et al.(1986), como se muestra en la figura 14(b). Las curvas D para los tres grupos de edad en general, están entre las curvas de Seed et al.(1986), entre la media y la cota inferior. Las comparaciones de las curvas recomendadas G/G_{\max} y D con las curvas de Stokoe et al. (2004), para PI=0 y tres niveles de σ'_m (25, 250, 2,500 kPa), se presentan en la figura 15. Las curvas para suelo Cuaternario son más lineales que las de Stokoe et al. (2004). Las curvas para los otros dos grupos de edad concuerdan bastante bien, lo que sugiere que las curvas de Stokoe et al. (2004) pueden no ser apropiadas para depósitos pequeños de suelo. Sin embargo, todos los cuatro conjuntos de curvas muestran un efecto similar de σ'_m .

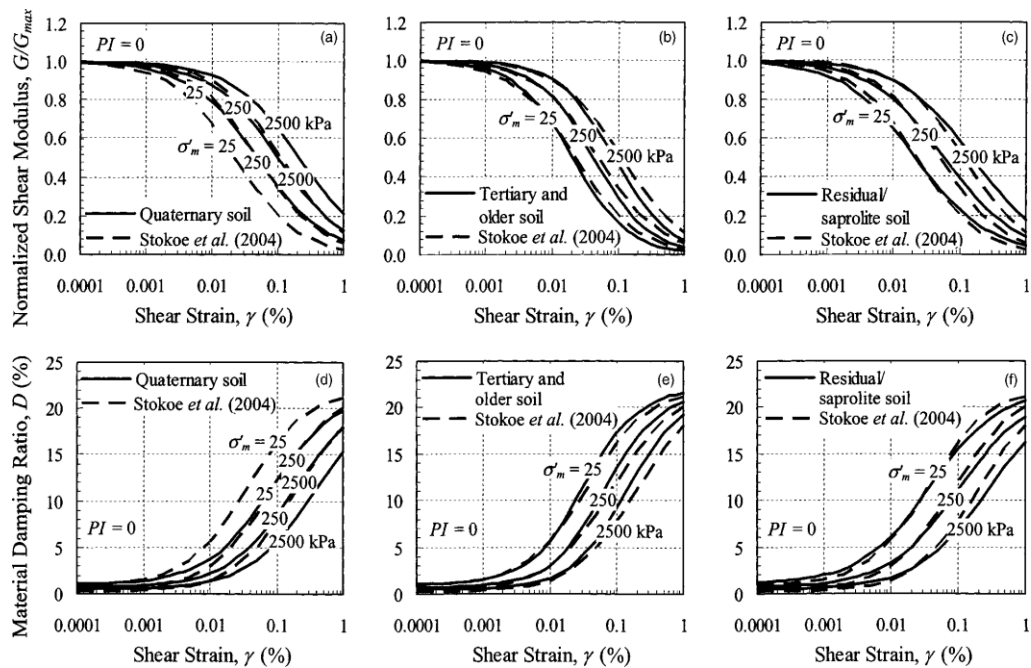


Fig. 15. Comparison of recommended G/G_{max} - $\log \gamma$ and D - $\log \gamma$ curves with curves by Stokoe et al. (2004) for plasticity index=0 soil at $\sigma'_m = 25, 250, \text{ and } 2500 \text{ kPa}$

3.2 Modelo de incertidumbre: Como puede verse en las Figuras 11 a 13, hay algunas discrepancias significativas entre los datos recopilados y el G/G_{max} recomendado y las curvas D , que no puede ser completamente explicado por diferencias en los métodos de ensayo. Estas discrepancias pueden explicarse por factores del suelo que no se consideran y el error de medición. Las curvas recomendadas son consideradas como curvas medias. Son funciones de múltiple Variables (i.e., a , k , γ_r , D_{min}), con cada variable exhibiendo un cierto grado de incertidumbre. Uno de los métodos para obtener las incertidumbres de las curvas recomendadas, es la método de estimación puntual de (Harr 1987). El método de estimación puntual se presentó por primera vez en Rosenblueth (1975), y tiene la ventaja de que sólo requiere el conocimiento de los valores de la media y la desviación estándar, de las variables consideradas. Una discusión detallada del análisis de regresión para determinar la media y la desviación estándar se da en Zhang (2004). Presentado en la fig. 16 son del rango de $\pm 1 \text{ SD } G/G_{max}$ y D , curvas determinadas por el método de estimación puntual para la edad de tres años grupos con $PI = 0$ y $\sigma'_m = 100 \text{ kPa}$. También se presenta la curva significativa recomendada. Estos resultados están de acuerdo con la dispersión observada en los datos compilados (ver Figs. 11-13), y son generalmente consistentes con las incertidumbres expuestas en los juegos de datos compilados por Seed et al. (1986), Vucetic y Dobry (1991) y Stokoe et al. (2004). Se debe tener cuidado al utilizar las curvas de incertidumbre que se muestran en la figura 16. Debido a la escasez de datos, la correlación de coeficientes entre las diferentes variables utilizadas, para el análisis de la incertidumbre, son seleccionados principalmente en supuestos basados en

razonamientos, en lugar de análisis de datos reales. Se necesitan más datos para validar los coeficientes de correlación asumidos y la incertidumbre de rangos basados sobre ellos.

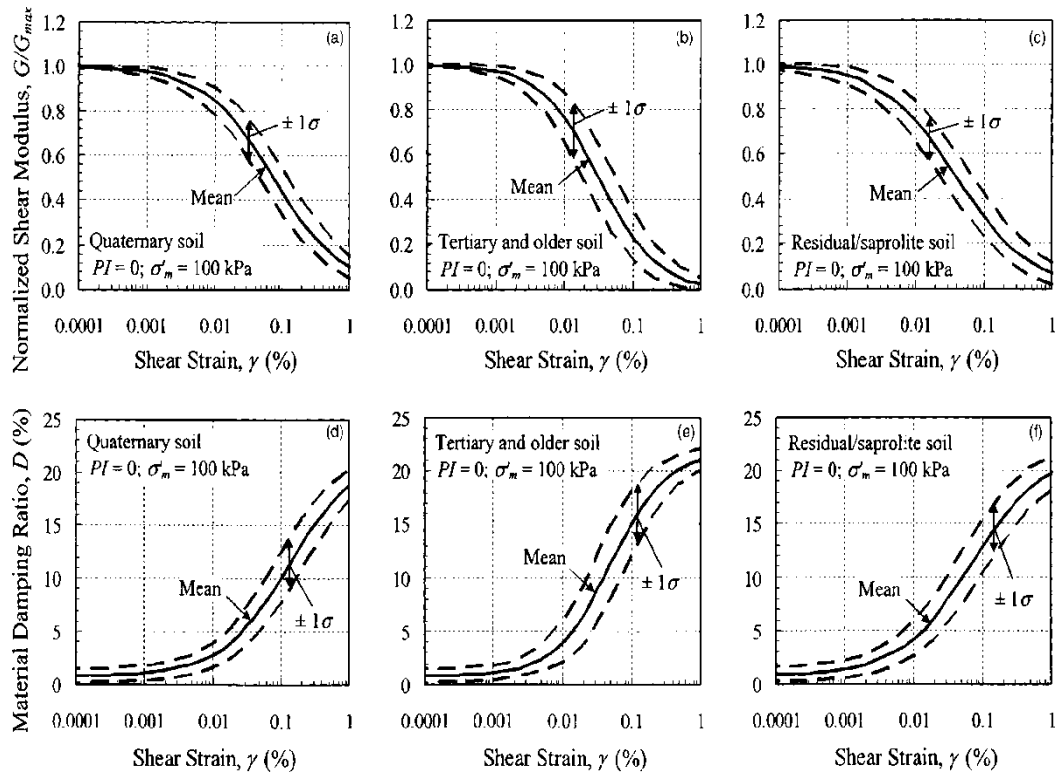


Fig. 16. Recommended mean and 1 SD range G/G_{max} – $\log \gamma$ and D – $\log \gamma$ curves for plasticity index = 0 soil at $\sigma'_m=100$ kPa

3.3 Ejemplo de aplicación: Para ilustrar los efectos que las curvas G/G_{max} y D tienen en el análisis de la respuesta sísmica, se analizará un modelo de capas de suelo/roca típica, muy común de algunos lugares de Charleston. El modelo de suelo/roca considerado, se resume en la Tabla 3. El modelo consta de 10m del suelo de edad Cuaternaria, con velocidad, V_s media, de 192 m/s, sustentada por 798m de suelo rígido de edad Terciaria y mayores para soft rock. El nivel freático, en el área de Charleston, es poco profundo, y se asumió en 1.50m por debajo de la superficie del suelo para los cálculos de σ'_m ; además, para los cálculos de σ'_m , se asume un valor K'_0 igual a 0.50 para todas las capas. Idealmente, σ'_m y las correspondientes curvas de G/G_{max} y D deberían calcularse para cada capa. Sin embargo, esto implicaría armar curvas únicas para las 27 capas y requieren más datos de entrada y tiempo. Con base en las evaluaciones de los datos de laboratorio y los estudios analizados, Stokoe et al. (1995), se sugiere que el campo estimado σ'_m debe estar dentro de aproximadamente $\pm 50\%$ de los valores reales, al seleccionar las curvas para el diseño. Por lo tanto, el enfoque a utilizar en esta ejemplo será la de dividir el modelo de suelo/roca en varias unidades principales. El promedio de valores de σ'_m para cada unidad principal se calculan y comparan con σ'_m valores calculados para cada capa

dentro de la unidad. Si el valor de σ'_m para cada capa está dentro de $\pm 50\%$ del valor medio para la unidad principal, entonces el σ'_m promedio se asigna a todas las capas dentro de la unidad. De lo contrario, la unidad se subdivide y un nuevo σ'_m promedio se calcula. De acuerdo con este enfoque, el generalizado modelo de suelo/roca, puede ser dividido en siete unidades principales y sus correspondientes promedios de valores de σ'_m , tal como se enumeran en la Tabla 3. Se necesitan siete conjuntos de curvas G/G_{max} y D para caracterizar el modelo de suelo/roca, sobre la roca basal, descrita en la Tabla 3. Las curvas se pueden generar mediante la selección de valores adecuados de γ_{r1} , α , k , y $D_{min\ 1}$ de la Tabla 2. Los valores de γ_{r1} y $D_{min\ 1}$ se convierten en valores de γ_r y D_{min} correspondientes a los valores medios de σ'_m utilizando las ecuaciones. E-2.14 y E-2.18.

Por último, estas variables son sustituidas en las Ecs. E-2.13 y E-2.16 para definir los conjuntos de siete curvas G/G_{max} y D , respectivamente. Se lleva a cabo el análisis de la respuesta sísmica para la aplicación, mediante el programa de ordenador SHAKE (Schnabel et al. 1972), específicamente la versión SHAKE91 (Idriss y Sun 1992) con la rutina del procesador de SHAKE2000 (Ordóñez 2000). El programa SHAKE se basa en el enfoque lineal equivalente y asume la propagación vertical de ondas sísmicas. Se considera adecuado para esta aplicación, porque la superficie del suelo en Charleston tiene aceleraciones y esfuerzos cortantes bastante planos, y la capas de suelo computarizado en el modelo de suelo/roca son menores de 0.40g y mayores al 2% respectivamente, los límites aproximados sugeridos por Kramer y Paulsen (2004).

El movimiento de tierra se genera utilizando un programa de ordenador, proporcionada por el Dr. Martin C. Chapman de Virginia Polytechnic Institute y State Univ. (Comunicación privada, agosto de 2003), basado en un modelo estocástico de fuente puntual que simula el afloramiento en la roca propuesta de Carolina del Sur, con un 2% de probabilidad de excedencia en 50 años. La figura 17 muestra los cuatro espectros de respuesta de la aceleración para un sistema estructural de un grado de libertad en la superficie del suelo, determinado utilizando el movimiento de afloramiento rocoso de entrada y el modelo generalizado del suelo/roca. El espectro de respuesta que exhiben la más alta aceleración se basa en las curvas G/G_{max} y D desarrollados en este estudio, teniendo en cuenta tanto la edad como el esfuerzo σ'_m . Los otros espectros de respuesta, son tres incluidos en la figura para efectos de comparación. Ellos se basan en: (1) las curvas desarrolladas en este estudio, considerando la edad y suponiendo $\sigma'_m = 100$ kPa, para todas las capas; (2) las curvas desarrolladas en este estudio considerando σ'_m y suponiendo edad Terciario para todas las capas; y (3) las curvas desarrolladas por Vucetic y Dobry (1991), que no consideran la limitación en el esfuerzo o la edad. Los cuatro espectros de respuesta presentan picos significativos en los períodos de 0.25-0.40s.

Sin embargo, dos espectros desarrollados sobre la base de las curvas de este estudio, considerando σ'_m , muestran aceleraciones máximas que son, 2 a 4 veces más altas que

los otros dos espectros. De los dos espectros obtenidos con base en este estudio y teniendo en cuenta las curvas de σ'_m , la diferencia relativa entre los períodos (0.30s frente a 0.40s) de las aceleraciones pico están de acuerdo con la teoría (i.e., el periodo fundamental de la tierra es igual a cuatro veces el espesor dividido por V_s del suelo), donde el espectro con periodo menor se basa en el perfil con 10m del Cuaternario, más lineal del suelo. Estos resultados ilustran las variaciones significativas en la predicción de las aceleraciones espectrales que pueden ocurrir, dependiendo de la supuesta Curvas G/G_{max} y D .

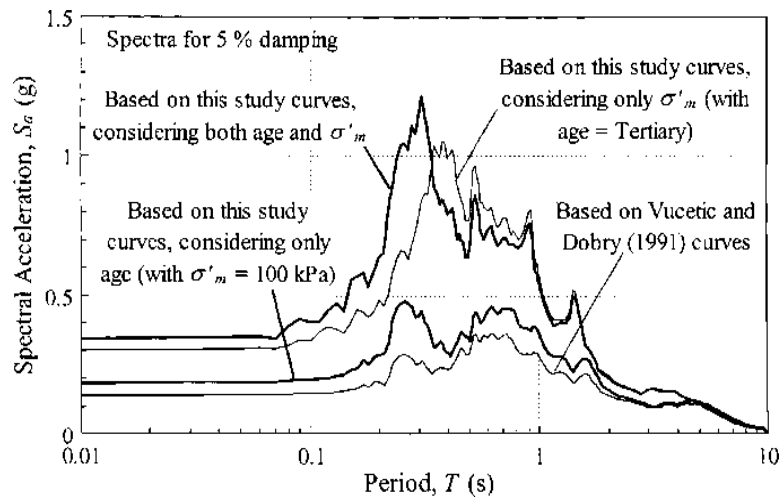


Fig. 17. Effect of G/G_{max} and D curves on spectral acceleration

Table 3. Generalized Soil Model for Selected Area in Charleston, South Carolina

Layer number	Thickness (m)	V_s (m/s)	Total unit weight (kN/m ³)	σ_m' (kPa)	Soil type	G/G _{max} and D curves used
1	1.50	192	18.20	15.00	SP-SC	Quaternary,
2	1.50	192	18.20			PI = 15a
3	2.00	192	18.20	50.00	SP-SC	Quaternary,
4	2.00	192	18.20			PI = 15a
5	3.00	192	18.20			
6	5.00	414	18.50	150.00	CH	Tertiary and
7	5.00	414	18.50			older, PI = 50a
8	5.00	414	18.50			
9	5.00	414	18.50			
10	10.00	414	18.50			
11	10.00	414	18.50	400.00	CL	Tertiary and
12	10.00	491	18.90			older, PI = 15a
13	10.00	568	18.90			
14	10.00	646	18.90			
15	10.00	723	18.90			
16	10.00	800	18.90			
17	20.00	803	19.60	900.00	Limestone	Tertiary and
18	20.00	806	19.60			older, PI = 0a
19	20.00	810	19.60			
20	40.00	816	19.60			
21	40.00	823	22.50	2,500.00	Sand	Tertiary and
22	80.00	835	22.50			older, PI = 0a
23	80.00	848	22.50			
24	100.00	864	22.50			
25	100.00	881	22.50	5,000.00	Sand	Tertiary and
26	100.00	897	22.50			older, PI = 0a
27	108.00	914	22.50			
22.5	Half-space	3,500	22.50	-	Rock	-

^a *PI = plasticity index.*

3.4 Conclusiones de los autores del trabajo: Utilizando los resultados de las pruebas de 122 especímenes naturales, se desarrollan ecuaciones predictivas para la estimación de G/G_{max} y D de los suelos. Los factores más importantes para el modelado de los resultados de la prueba fueron: amplitud de deformación por corte, tensión de confinamiento, PI, y la edad geológica. Porque aparece la edad geológica como un factor significativo, los datos de prueba se separaron en tres grupos: los suelos del Cuaternario, de suelo terciario y mayores, y suelo de saprolita/residual. Los suelos cuaternarios presentan mayor linealidad con respecto a G/G_{max} y D, que los suelos de los otros dos grupos. Las comparaciones entre las ecuaciones de predicción, desarrollados en este estudio y las curvas publicadas

anteriormente, muestran que el efecto de confinar produce un esfuerzo más significativo y el efecto de PI es menos significativo al modelar el comportamiento dinámico del suelo, de lo que previamente se pensaba. Esta conclusión se apoya en los datos de los tres grupos de edades geológicas estudiadas. Está de acuerdo con los últimos resultados de Stokoe et al. (2004). A pesar de las diferencias, el acuerdo general con las curvas previamente publicados para $PI=0$ y $\sigma'_m=100$ kPa, sugiere que las ecuaciones de predicción, desarrolladas en este estudio son aplicables a otras áreas del mundo con suelos con similares condiciones. Se necesitan más datos para validar esta conclusión, sobre todo a partir de los depósitos de suelo en la edad Cuaternaria. Adicionalmente, se necesitan más datos para definir los efectos del contenido de agua, el grado de saturación y el coeficiente de uniformidad, que se presentan y no son tan importantes como los otros factores, para el modelado de los datos recopilados. Las incertidumbres asociadas a las ecuaciones de predicción G/G_{max} y D pueden ser estimadas usando el método de estimación puntual. Se encontraron que los rangos de $\pm 1 \sigma$ para los tres grupos de edad son similares, con los rangos de la edad terciaria. Por último, como se ilustra en la solicitud presentada al final del trabajo, los efectos de confinar el esfuerzo y la edad geológica en las Curvas G/G_{max} y D , pueden afectar significativamente la predicción de las aceleraciones espectrales. Por lo tanto, confinar el esfuerzo y la edad deben ser tenidos en cuenta a la hora de seleccionar las curvas G/G_{max} y D para el diseño.

ANEXO 4

ANALISIS DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA DE LOS ACELEROGRAFOS KINEMATRICS Y ETNA UTILIZADOS POR LA RED RAB, DE BOGOTA D.C.

Para realizar la deconvolución de sismogramas, utilizando software, es necesario, corregir la respuesta del instrumento, mediante la función de transferencia nominal de los sensores, los polos y los ceros del acelerómetro. Para los digitalizadores analógicos con Filtros Anti-Alias, los fabricantes proporcionan los polos y los ceros para su diseño, basados en valores nominales y temperatura al ambiente. Las características de los acelerógrafos Kinematics, utilizados por la RAB, son para el modelo, K2, cuyas características son:

MODELO K-2 DE KINEMATRICS	
Rango dinámico:	145 dB + (modelo de ruido episensor)
Ancho de Banda:	DC a 200Hz
Sensibilidad:	125 V/g
Resolucion:	16 bits DSP con filtro antialias
Salida de Full escala:	Seleccionable desde +/-2.5, 5, 10 y 15V
Frecuencia natural:	202HZ
Rata de Muestreo:	Seleccionable desde 20, 40, 50, 100, 200 y 250

Y para el modelo ETNA.

KINEMATRICS-ETNA -High Dynamic Range Strong Motion acelerógrafos
El Kinematics Etna es un acelerógrafo Strong Motion rentable diseñada para satisfacer una amplia gama de aplicaciones de monitoreo de terremotos. Basado en la tecnología Altus Kinematics ¹ , el Etna ofrece una resolución superior para satisfacer las necesidades del cliente en aplicaciones de alto rango dinámico, donde la fidelidad de la señal y la integridad de los datos son de vital importancia.
El Etna fue diseñado para ser fácil en su presupuesto sin dejar de ofrecer las características más solicitadas por los usuarios finales. El instrumento estándar viene equipado con 3 canales, una Fuerza EpiSensor acelerómetro triaxial equilibrio interno y una tarjeta de memoria PCMCIA. En additiokn, el Etna ofrece varias características opcionales incluyen: PCMCIA de almacenamiento y las comunicaciones, las redes y el tiempo GPS.
Desarrollado por Microsoft Windows, nuestra QuickTalk [®] y software QuickLook [®] proporciona un entorno fácil de usar, por lo que la configuración del sistema, las comunicaciones y el análisis rápido de los datos rápida y fácil. También disponemos de una biblioteca de programas de apoyo de DOS para los usuarios que desean personalizar las comunicaciones con los instrumentos Altus Kinematics ¹ . Con el Etna, tiene la seguridad no sólo de obtener alta calidad, instrumentación rentable, sino también de recibir el compromiso Kinematics ¹ para el éxito de sus proyectos en las próximas décadas.

Descripción General	
El Etna Strong acelerógrafos Motion adquiere y registra los datos de aceleración con 18 bits de resolución. El instrumento estándar viene equipado con 3 canales, e incluye una Fuerza EpiSensor acelerómetro triaxial equilibrio interno. Los datos se almacenan en una tarjeta de memoria PCMCIA extraíble. Los eventos grabados pueden ser off-carga automáticamente a través de módem, recuperados manualmente por ordenador, o recogiendo la tarjeta de memoria PCMCIA. Los datos del historial de tiempo se pueden evaluar los parámetros clave usando Quicklook para Windows o convertidos a otros formatos de archivo para su posterior análisis de datos.	
Características principales	
	18 bits de resolución con 108 dB de rango dinámico
	Solución rentable que puede satisfacer las aplicaciones más exigentes de hoy en día
	La multitarea del sistema operativo que permite la adquisición simultánea de datos y el interrogatorio
	Precisión de la temporización a 0,5 milisegundos debidas al muestreo sincronizado con el sistema de temporización GPS
	Capacidad de alerta remota de eventos del sistema o fallo de autodiagnóstico
	Formato compatible con otros productos del archivo en la serie de instrumentos Altus
Aplicación:	
	Matrices de seguimiento Estructurales
	Matrices densas: 2 y 3 dimensiones
	Arrays estudio Aftershock
	Arreglos regionales
Adquisición de Datos:	
Tipo:	En la muestra del sistema delta sigma con procesador de 24 bits de señal digital
Número de canales:	Tres canales (estándar)
Rango dinámica:	108 dB a 200 sps
Respuesta de frecuencia:	DC a 80 Hz @ 200 sps
Resolución:	18 bits de resolución a 200 sps
Ruido:	<8 mV RMS
Frecuencia de muestreo:	100, 200, 250 sps
Rango de entrada:	+ / - 2,5 V
Chan / chan sesgo:	Ninguno - muestreo simultáneo de todos los canales
Suavizar filtro:	Brickwall filtro FIR. De corte en el 80% de la producción de Nyquist. 120 dB por debajo a la salida de Nyquist.
Real de salida digital en tiempo:	Salida RS-232 de flujo digital
Tipo de calibración:	Secuencia de prueba Kinemetrics
Sensor	
Tipo:	EpiSensor acelerómetro triaxial equilibrio de fuerzas, ortogonal orientada interno (estándar), externo (opcional)
Fondo de escala:	2 g (estándar), 4 g, 1 g, 0,5 g (opcional)
Ancho de banda:	DC a 200 Hz
Rango dinámica:	155 dB +
Calibración y prueba:	Calibración Coil Prueba funcional
Disparador	
Tipo:	Filtro de paso de banda IIR
Ancho de banda de disparo:	0,1 Hz-12.5 Hz
Canal activación; gatillo, de-disparo:	Umbral independiente para todos los canales
Umbral de alarma:	Seleccionable entre 0.01% y el 100% de la escala completa
Dispare la votación:	Internos, los votos de activación externa con la combinación aritmética
Memoria Antes del evento:	60 segundos máximo de 3 canales a 200 sps. Software seleccionable en incrementos de un segundo.
Tiempo posterior al evento:	Seleccionable por software, especificado en segundos, de 0 a 65.000 segundos
Almacenamiento	
Tipo:	Dos ranuras de almacenamiento totalmente compatible PCMCIA disponibles.
Compatibilidad:	PCMCIA estándar 2.1. Sockets aceptan I, II, formatos de tarjetas de tipo III. Tipo I o II con conexiones de módem.
Ranura primario:	16 MB de tarjeta de memoria (mínimo). Consulte a la fábrica para las tarjetas de memoria opcionales y discos duros.
Ranura secundario:	Las mismas opciones que la ranura principal de los medios de almacenamiento. Acepta Tipo I o II módem con conectores.
Capacidad de grabación:	Aproximadamente 8 minutos por MB en la tarjeta de memoria, 3 canales de datos de 24 bits a 200 sps.
Formato de grabación:	Los datos se almacenan en el sistema de archivos DOS que permite a las tarjetas para ser leídos directamente por PC.

Firmware	
Tipo:	Sistema operativo multi-tarea apoya la adquisición y la interrogación simultánea. Cargador de arranque permite actualizaciones de firmware remotas.
Control del sistema:	Configure la frecuencia de muestreo, tipo de filtro, tipo de disparo y votantes, mantiene la comunicación y almacenamiento de eventos.
Interfaz de usuario:	Protocolo por paquetes y simple control de bucle terminal y recuperación de datos, a través de la interfaz RS-232.
Intelligent alerta:	Puede iniciar las comunicaciones cuando se detecta un evento o si se produce un fallo de auto-diagnóstico.
Auto-diagnóstico:	El sistema puede configurarse para comprobar continuamente tensiones del sistema, la integridad de la temperatura, la memoria RAM y el código y la integridad del sistema de distribución.
Sincronización	
Tipo:	GPS (opcional), libre funcionamiento del oscilador disciplinado (estándar)
GPS (opcional):	Se integra completamente con el sistema, proporcionando momento, la corrección oscilador interno y la información de la posición.
Precisión de tiempo:	5 microsegundos de UTC. Receptor GPS mejor que 1 milisegundo sincronización de datos a UTC. Ciclo de encendido es controlado por software.
Consumo de energía:	110mA a 12V (activo)
I / O y pantalla	
Tipo:	Conectores I / O, la protección EMI / RFI y transitorios, los conductores y la pantalla de E / S se proporcionan en una sola placa del panel frontal.
Pantalla:	3 LEDs. Pantalla se visualiza: Ejecutar / Fault, carga, eventos
Entrada de energía:	Conector de estilo militar para la entrada de carga y batería externa
Interfaz RS-232:	Interfaz RS-232C completa con control de módem
Entrada Interconnect (opcional):	Conector de estilo militar para IRIG cabo, IRIG, sincronización de reloj., 1 pps fuera, activación de disparar, hacia fuera, salida de alarma, la salida en tiempo real digital (Tx y Rx), salida externa de 12V, el relé 1.
EMI / la RMI:	Todas las líneas de E / S están protegidos tanto de los problemas de susceptibilidad EMI / RFI de emisiones y por los filtros de ferrita y supresores de transitorios.
Fuente de alimentación	
Se suministra voltaje cargador externo:	100-250 Vac 50/60 Hz
Voltajes de carga:	14.9V @ carga rápida, carga 13,8V @ float. Temperatura compensada de plomo ácido, las baterías tipo gel
Rango de funcionamiento de la batería:	11V a 15V
Baterías:	Interna 12V, 6,5 Ah batería (estándar), 12 V, batería de 12Ah (opcional), la batería externa (opcional)
Consumo de corriente:	185 mA a 12 V
Autonomía de energía:	> 36 horas (estándar), > 72 horas con la batería 12Ah interno opcional
Viviendas	
Tipo:	Lexan vivienda espuma estructural recubierto internamente con EMI / RFI material de blindaje, 5/16 "soporte de la base de aluminio para el montaje y acoplamiento de sensores.
Montaje y nivelación:	Solo agujero de 1/4 "stud y tres patas ajustables para nivelar
Tamaño:	10,1 "(256 mm) W x 15" (381 mm) L x 7 "(178 mm) H
Peso:	20 libras. (9 Kg) incluyendo batería
Software Support	
Tipo:	Los programas de recuperación de control de Microsoft Windows compatible y - QuickTalk ® y QuickLook ® para Windows. También funciona con el software de comunicación de DOS.
QuickTalk y QuickLook:	Permite una fácil configuración del instrumento y la recuperación de datos mediante conexión directa o módem de hasta 57.600 baudios. Incluye manual de ayuda en línea de Windows. Permite una rápida visualización de los datos y generará la salida a cualquier dispositivo compatible con Windows.
Convertidores de formato:	Proporciona la opción para convertir y almacenar datos en ASCII y otros formatos. Comuníquese con la fábrica para otros formatos.
Medio ambiente	
Temperatura de funcionamiento:	-20 C a 70 C
Humedad:	0-100% de humedad relativa

Cuando se requiera de una función de transferencia más precisa, a altas frecuencias, por encima de 20 Hz, se puede considerar un polo adicional (p_3), con un filtro RC pasivo pasa

bajos. Los sensores FBA son calibrados por el fabricante, como sistemas de segundo orden. La frecuencia nominal natural es de 50 Hz y el amortiguamiento nominal es de 0,707. Se debe tener en cuenta, en primera instancia, los polos basados en los valores de la hoja de calibración en lugar de los valores nominales. Los sensores con sensibilidad absoluta diferente, tienen los mismos polos de segundo orden. La transformación de la Función de transferencia, debido a los elementos mecánicos y al filtro interno pasa bajos, se puede determinar mediante el programa MATLAB. La función de transferencia nominal de segundo orden del FBA, relacionada con la aceleración del suelo y con un par de polos p_1 y p_2 conjugados, es:

$$\frac{V(s)}{A(s)} = K_2 \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} = \frac{K_2 K_1}{(s - p_1)(s - p_2)} \quad E - 4.7$$

$V(s)$:	Transformada de Laplace de la tensión de salida del sensor en el V.
$A(s)$:	Transformada de Laplace de la aceleración de entrada, en Gales o en m/s^2
K_2 :	Sensibilidad del sensor absoluta en DC en $\frac{VS^2}{mVg}$
K_1 :	$ p_1 * p_2 = 9.844 * 10^4$
p_1, p_2 :	Par conjugado de polos
ω_n :	Frecuencia del sensor natural en rad/s
S :	Operador de Laplace.
ζ :	Amortiguamiento relativo (adimensional)

Para hallar los dos polos complejos conjugados, se puede resolver la ecuación cuadrática siguiente:

$$P_1 = -\zeta\omega_n + j\omega_n\sqrt{1 - \zeta^2} \quad E - 4.8$$

$$P_2 = -\zeta\omega_n - j\omega_n\sqrt{1 - \zeta^2} \quad E - 4.9$$

Con las ecuaciones anteriores se puede obtener la sensibilidad absoluta del sensor a valores por debajo de CC, también se pueden utilizar para mejorar la precisión, al tomar los datos de calibración del equipo. La función de transferencia nominal del FBA, relacionada con la aceleración del suelo considerando el filtro pasa bajos en la etapa de post amplificado es:

$$\frac{V(s)}{A(s)} = \frac{K_2 K_1}{(s - p_1)(s - p_2)(s - p_3)} \quad E - 4.10$$

$$K_1 : |p_1 * p_2 * p_3| = 1.48 * 10^8$$

$$E - 4.10^a$$

La sensibilidad, absoluta nominal, a DC- K2, de los sensores de Kinematics, para los diferentes rangos de aceleración, aplicado al sensor FBA-23 de Kinematics es:

ACELERACION g	SENSOR DE SENSIBILIDAD ABSOLUTA	
	DC EN Vs ² /m	DC v/G
0.25	1.0197	10.00
0.50	0.5099	5.00
1.00	0.2549	2.50
2.00	0.1275	1.25

El valor de K_2 medido para cada sensor, está incluido en la tarjeta de calibración y puede ser usado en la función de transferencia en lugar de las sensibilidades nominales dadas anteriormente.

En consecuencia los polos y ceros de la función de transferencia, teniendo en cuenta la frecuencia natural de 50 Hz, y la relación de amortiguamiento de 0,707, son los siguientes:

POLOS Y CEROS DE LA FUNCION DE TRANSFERENCIA ACELEROMETROS KINEMATICS				
FRECUENCIA NATURAL Hz	POLO P ₁		POLO P ₂	
	COMPONENTE REAL rad/s	COMPONENTE IMAGINARIO rad/s	COMPONENTE REAL rad/s	COMPONENTE IMAGINARIO rad/s
50	-222.1	221.1	-222.1	-222.1
90	-399.8	399.8	-399.8	-399.8
100	-444.2	444.2	-444.2	-444.2

Al considerar el polo p_3 , se obtiene una mayor precisión, teniendo en cuenta el filtro RC pasa bajas a la entrada del amplificador. Este polo depende de la frecuencia natural.

GAMA COMPLETA DE ACELERACIONES DEL FBA EN (g)			
FRECUENCIA NATURAL DEL FBA Hz	RANGO COMPLETO DE ACELERACIONES DEL FBA g	POLO P ₃	
		COMPONENTE REAL rad/s	COMPONENTE IMAGINARIO rad/s
50, 100	0.25, 0.50, 1.00	-1000	0
50, 90	2.00, 4.00	-1500	0

La función de transferencia a 50 Hz y una aceleración de 1.0g, los polos nominales del FBA serían:

	FRECUENCIA NATURAL	POLOS		
COMPONENTE	DEL FBA EN Hz	P ₁	P ₂	P ₃
REAL (rad/s)	50	-222.1	-222.1	-1000
IMAGINARIA (rad/s)		222.1	-222.1	0

4.1 NIVELES DE RUIDO QUE AFECTAN LOS SISMOGRAFOS: En términos generales todos los sismógrafos registran algún tipo de ruido, cuando existe ganancia, (ruido armónico). Generalmente se ubica en la banda de los 0.10 a 1.0 Hz. Una forma de resolver este problema del ruido es mediante la utilización del espectro del ruido, obteniendo el ruido en todas las frecuencias de una sola vez. Su representación es el espectro de potencia del ruido de densidad de aceleración $P_a(w)$; esta expresado en unidades logarítmicas, adimensionales y escalares, que reciben el nombre de decibelio, dB (unidad, $(m/s^2)^2Hz$, para expresar la relación entre la magnitud que se estudia y la de referencia). El nivel de ruido se puede determinar como:

$$Nivel\ de\ ruido = 10 \log \left[\frac{P_a(w)}{\left(\frac{m}{s^2}\right)^2 Hz} \right] \quad E - 4.11$$

El ruido sísmico, (asumido como un proceso estacionario), puede representarse por las curvas Peterson, que pueden relacionar la curva del ruido y la curva del sismógrafo, (el ruido está en el dominio de la frecuencia y el sismógrafo en el dominio del tiempo que puede transformarse al dominio de la frecuencia, mediante la transformada de Fourier), La amplitud a_{rms} , de una señal en el intervalo de tiempo entre 0 y t se expresa, Bernal y Espinoza (2013), como:

$$a^2_{RMS} = \frac{1}{t} \int_0^t a(t)^2 dt \quad E - 4.12$$

a_{RMS} : Raíz cuadrada media de la amplitud

Por el teorema de Parseval, se puede hallar el espectro de densidad de potencia; considerando el espectro de potencia, como una constante de P, en el rango de las frecuencias f_1 y f_2 y para filtros de banda estrecha, como:

$$a^2_{RMS} = \int_{f_1}^{f_2} P(w) d_f \cong P(f_2 - f_1) \quad E - 4.13$$

Extendiendo la aplicación al caso general y utilizando el valor normalizado promedio $P(w)$, de la densidad espectral de potencia, teniendo en cuenta únicamente frecuencias positivas, (como se define en el estándar de análisis espectral complejo) el valor de a_{RMS} es:

$$a_{RMS}^2 = 2(f_2 - f_1) \quad E - 4.14$$

Por consiguiente, los valores de energía, calculados por Peterson (1993), incluyen el valor anterior y representan la potencia general. La relación entre la densidad espectral de potencia y la a_{RMS} , para una banda estrecha de frecuencia se representa por:

$$a_{RMS} = \sqrt{P(f_2 - f_1)} \quad E - 4.15$$

La amplitud pico promedio en el sismograma, puede hallarse utilizando un factor de 1.25 y su expresión es:

$$a = 1.25a_{RMS} = 1.25\sqrt{P(f_2 - f_1)} \quad E - 4.16$$

Las amplitudes de ruido de banda ancha y periodo largo describen aproximadamente una distribución gaussiana, Peterson (1993). La banda de frecuencia, para los análogos, depende de los instrumentos, mientras que cuando son digitales dependen del filtro que el usuario escoja. Es común designar las bandas de filtro en términos de “octavas”, por ejemplo, una n-octavo de octava tiene límites f_1 y f_2 relacionados como $\frac{f_2}{f_1} = 2^n$. El ancho de banda de las señales, de muchos componentes dominantes del ruido sísmico del suelo puede ser inferior a un octavo. La frecuencia media también puede expresarse en función de la frecuencia central f_0 , Bernal y Espinoza (2013), así:

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2} = \sqrt{f_1 f_1 2^n} \quad E - 4.17$$

$$f_0 = f_1 2^{\frac{n}{2}} \quad \therefore \quad f_1 = f_0 2^{-\frac{n}{2}}, \quad f_2 = f_0 2^{\frac{n}{2}}$$

La frecuencia central, para filtros estrechos, puede tomarse como la frecuencia media, aplicándola a los espectros de aceleración, velocidad y desplazamiento se obtienen las siguientes relaciones:

$$P_V(w) = P_d(w)w^2 \quad \text{y} \quad P_a(w) = P_V(w)w^2 = P_d(w)w^4$$

Otro ejemplo de ruido es el producido por micro trepidaciones, compuestas en un 70% por ondas superficiales, Bard (1998). Los micro tremores son definidos como temblores superficiales estacionarios, conformados por ondas Rayleigh; que se originan por la superposición de dos vibraciones con amplitudes y periodos similares, Nagaoka (1906). La composición de estas ondas son, de período largo y corto, alimentándose de las ondas

superficiales Rayleigh y Love, como producto de las fuentes naturales, como el viento, las olas y las variaciones barométricas por la presión del aire debido a cambios de frío a caliente o viceversa, también se producen, por fuentes diversas como el ruido artificial del tráfico vehicular, plantas industriales y las maquinas industriales. A continuación se describen someramente algunos orígenes del ruido sísmico:

TIPOS DE RUIDO QUE AFECTAN LOS SIMOGRAFOS Y DEBEN DEPURARSE			
ORIGEN	DESCRIPCION	FRECUENCIAS Hz	MEDIO EN QUE SE PROPAGAN
HOMBRE-CULTURAL	MAQUINARIA Y TRAFICO (MICROTREMORES)	2-4	ONDAS DE SUPERFICIE
VIENTO	ARBOLES-ROCAS Y ESCARPES	4-6	ONDAS DE SUPERFICIE
OCEANOS	MICROSISMOS	0.06 a 0.10	ONDAS EN LAS REGIONES COSTERAS
DE PERIODO CORTO	EST. GEOLOGICAS, TEMPERATURA, EXPLOSIONES, TRANS. VEHICULOS	0.30 a 10	VEGETACION Y MONTAÑAS
DE PERIODO LARGO	FLUCTUACIONES BAROMETRICAS	0.001 a 0.05	COSTAS (PRESENCIA DE EIGENFRECUENCIAS)

4.2 ANALISIS DE LOS MICROTREMORES PARA DEFINIR ZONAS DE ISOPERIODOS: Los análisis de micro tremores, son utilizados principalmente para establecer zonas de isoperiodos y para establecer zonas de microzonificación sísmica. Varias metodologías han sido propuestas por los investigadores Kanai (1964), Aki (1967), Kagamani (1982) y Konno (1996). Una de las técnicas más utilizadas, por su simplicidad y economía, es la de Nakamura (1989). Nakamura, baso su investigación en el supuesto, de que los micro tremores se componen de varios tipos de onda, principalmente ondas S y el ruido se propaga principalmente como ondas Rayleigh. La componente vertical y horizontal de micro trepidaciones son similares en el basamento rocoso y son amplificadas por las capas blandas del suelo superficial, que se apoya sobre un estrato duro. Se considera que la componente horizontal de micro trepidación es amplificada por la multireflexion de la onda S y la componente vertical por multireflexion de la onda P. Por último, Nakamura supuso que la componente vertical de las micro trepidaciones no es amplificada por las capas horizontales. En consecuencia el efecto de sitio, está definido como el cociente espectral, entre las componentes horizontales sobre la superficie y la base del movimiento. (Gómez, UIS, 2007)

$$S_E = \frac{H_S(w)}{H_B(w)} \quad E - 4.18$$

S_E : Es el espectro de los efectos de sitio.

$H_S(w)$: Es el espectro de la onda horizontal en superficie.

$H_B(w)$: Es el espectro de la onda horizontal en la base del movimiento.

El cociente espectral horizontal a vertical muestra la resonancia de las ondas S, en la capa superficial blanda y en consecuencia la curva HVSR, (Horizontal Vertical Espectral Ratio), muestra un valor constante de la función de la amplificación del sitio. (Nakamura, 2000)

Las ondas internas de las micro trepidaciones, como ya se mencionó, tienen ondas de superficie y deben corregirse, eliminando los efectos de estas ondas. Nakamura (1989),

supone que las ondas Rayleigh, están incluidas en el espectro de ondas verticales superficiales. La siguiente ecuación relaciona estos efectos:

$$A_S(\omega) = \frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)} \quad E - 4.19$$

Dónde:

A_S : Efecto de las ondas Rayleigh

V_S : Espectro de las ondas verticales en superficie.

V_B : Espectro de las ondas verticales en la base del movimiento.

Por lo tanto el espectro de sitio modificado, se determina como:

$$S_M = \frac{S_E(\omega)}{A_S(\omega)} = \frac{H_S(\omega)V_B(\omega)}{H_B(\omega)V_S(\omega)} \quad E - 4.20$$

S_M : Espectro de sitio modificado.

Theodulidis (1995), experimentalmente demostró, que la suposición de Nakamura, de que las vibraciones horizontales y verticales en el basamento rocoso son iguales, se aproxima, para frecuencias en el rango de 0.10 a 10 Hz. Por lo tanto el cociente entre el espectro de la onda horizontal en la base del movimiento y el espectro de las ondas verticales en el basamento rocoso puede aproximarse a 1: (Gómez, UIS, 2007)

$$\frac{H_B(\omega)}{V_B(\omega)} \approx 1 \quad \therefore \quad S_M(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)} = N_S(\omega) \quad E - 4.21$$

Como conclusión, el cociente entre la componente horizontal y vertical en un mismo sitio, puede usarse como un estimativo de los efectos de sitio de las ondas internas del movimiento, eliminando de esta manera los efectos de la fuente, patrón de radiación y directividad presente en los sismos. La técnica con base en el cociente espectral H/V es denominado por Nakamura (2000), como técnica QTS (Quasi Transfer Spectrum). (Gómez, UIS, 2007)

4.3 EVALUACION DE LOS COEFICIENTES ESPECTRALES PARA LA MICROZONIFICACION

SISMICA: Para la microzonificación sísmica, los coeficientes espectrales, pueden calcularse mediante la metodología propuesta por M. Bour, et al (1998), para cada punto medido, así:

- Corrección de la línea de base.
- Depurado de la señal, mediante filtro Pasa Banda de 0.10 a 1.0Hz.
- Elección de ventanas de 20s, de 8192 puntos (entre 10 y 20 ventanas)
- Empleo de un tapering simétrico de Hanning en el 20% de la señal.

- Evaluación de los espectros de Fourier en las direcciones, EO, V y NS.
- Pulimento del EAF, mediante una ventana de anchura del 10% de la frecuencia.
- Aplicación de la técnica de QTS, de Nakamura, para la estimación V/H promedio de los cocientes espectrales, mediante la siguiente expresión:

➤

$$\left(\frac{H}{V_{(w)}} \right) = \sqrt{\frac{(EO^2 + NS^2)}{2V^2}} \quad E - 4.22$$

- Computo de la media de los cocientes espectrales y su desviación estándar.

ANEXO 5

PROPAGACION DE LAS ONDAS P, SV Y SH

Al considerar que los esfuerzos presentes son tales que $\sigma_2 = \sigma_{yy} = 0$ y que la condición de *reducción dimensional*, correspondiente a suponer que la derivada de cualquier cantidad con respecto a la coordenada “y” es nula ($\partial y(n) \equiv 0$); Con la primera consideracion se puede interpretar que la fuente de los esfuerzos es una fuente lineal infinita, orientada a lo largo del eje “y” perpendicular al plano xz, de otra parte, con la segunda premisa se puede colegir a asumir homogeneidad total del medio en la dirección definida por el eje y. Teniendo en cuenta lo anotado, las relaciones esfuerzo deformación se reducen a la siguiente presentación:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ 0 \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{zy} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & & & \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & & & \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & & & \\ & & & c_{44} & & \\ & & & & c_{55} & \\ & & & & & c_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{xx} \\ 0 \\ e_{zz} \\ e_{zy} \\ e_{xz} \\ e_{xy} \end{pmatrix}$$

La matriz está constituida por bloques, por lo tanto se puede reescribir la relacion entre esfuerzos y deformaciones, de la forma siguiente:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{xz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{13} \\ c_{31} & c_{33} \\ & c_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{xx} \\ e_{zz} \\ e_{xz} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \sigma_{zy} \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{44} & \\ & c_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e_{zy} \\ e_{xy} \end{pmatrix}$$

Estas ecuaciones, en primer lugar, se relacionan únicamente con la propagación de las componentes u_x y u_z del vector de desplazamientos infinitesimales o sea en el campo de las ondas P-SV. En segundo lugar se relacionan con la propagación aislada de u_y , que corresponde al campo de onda SH, este desacoplamiento entre las componentes de \vec{u} solo ocurre al imponer la condición de homogeneidad $\partial_y = 0$.

La ecuaciones de Navier para u_x y u_z (la Onda P-SV), contienen las derivadas $\partial_y \sigma_{xy}$ y $\partial_y \sigma_{yy} = 0$, por lo tanto las ecuaciones dinámicas son:

$$\frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} - F_x \right\} = \frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2}$$

$$\frac{1}{\rho} \left\{ \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} - F_z \right\} = \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2}$$

Y la ecuación esfuerzo deformación será:

$$\sigma_{xx} = C_{11} e_{xx} + C_{13} e_{zz} = C_{11} \frac{\partial u_x}{\partial x} + C_{13} \frac{\partial u_z}{\partial z}$$

$$\sigma_{zz} = C_{13} e_{xx} + C_{33} e_{zz} = C_{13} \frac{\partial u_x}{\partial x} + C_{33} \frac{\partial u_z}{\partial z}$$

$$\sigma_{xz} = 2C_{44} e_{xz} = C_{44} \left(\frac{\partial u_x}{\partial z} + \frac{\partial u_z}{\partial x} \right)$$

Como u_y , no aparece en la deducción de ninguna de las ecuaciones anteriores, indica que u_x y u_z son independientes de ella. Los esfuerzos σ_{zy} y σ_{xy} contienen los campos u_x y u_z :

$$\sigma_{zy} = 2C_{44} e_{zy} = C_{44} \left(\frac{\partial u_z}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial z} \right)$$

$$\sigma_{xy} = 2C_{66} e_{xy} = C_{66} \left(\frac{\partial u_x}{\partial y} + \frac{\partial u_y}{\partial x} \right)$$

Pero al imponer la condición de homogeneidad en la dirección y ($\partial y = 0$), la dependencia en los elementos P-SV, desaparece, por tal razón los esfuerzos se pueden describir como:

$$\sigma_{zy} = C_{44} \frac{\partial u_y}{\partial z}$$

$$\sigma_{xy} = C_{66} \frac{\partial u_y}{\partial x}$$

Sustituyendo en la ecuación de Navier para u_y , se tiene:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(C_{66} \frac{\partial u_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(C_{44} \frac{\partial u_y}{\partial z} \right) - F_y = \rho \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2}$$

Esta última ecuación demuestra el desacoplamiento de los modos de propagación SV. (<http://www.fis.usb.v/~mcaicedo>) y *Stanford Exploration Project* (sepwww.stanford.edu).

Para entender el concepto de las ondas SH y SV, a continuación se hace una breve descripción de su significado, utilizando las Notas de C.C. Mei, Otoño de 2000 MIT, sobre la propagación de ondas en el plano u_x y u_y , estudiadas por Graff, Achenbach, Aki y Richards: "Quantitative Seismology", V.1

Las ecuaciones que determinan ϕ y H_z , están gobernadas por ondas desconexas a las correspondientes H_x y H_y , por esta razón las componentes de desplazamientos en el plano u_x y u_y son independientes del componente fuera del plano u_z . Los desplazamientos en el plano u_x y u_y se asocian con la dilatación y el esfuerzo cortante en el plano, representados por ϕ y H_z , a los que se referirán como onda P y la onda SV. El desplazamiento fuera del plano u_z , se asocia con H_x y H_y , denominándose onda SH.

Existen diferentes tipos de condiciones de frontera, sobre la frontera plana, a saber:

- a) Dinámica: Compuesta únicamente por las componentes de tensión (la condición de tracción)
- b) Cinemática: Tiene en cuenta sólo los componentes de desplazamiento
- c) Sistema combinado: Corresponde a una combinación de componentes de tensión y a unas componentes de desplazamiento.
- d) Sistema con condiciones mixtas: En las cuales se dan los esfuerzos sobre una parte de la frontera y los desplazamientos sobre la otra.

Analizando el caso más sencillo, donde el plano $y = 0$ está completamente libre de tensiones externas

$$\tau_{yy} = \tau_{xy} = 0 \quad E - 1$$

$$\tau_{yz} = 0 \quad E - 2$$

La ecuación E-1 afecta solo a las ondas P y SV y la ecuación E-2 afecta a la onda SH. En consecuencia se tienen dos problemas no acoplados, cuya solución puede resolverse por separado.

1. **ONDAS P Y SV:** Si únicamente actúan las ondas P y SV, se tiene que:

$$H_x = H_z = 0$$

Suponiendo que todas las ondas tienen vectores de número de onda inclinados en la dirección x positiva:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \phi}{c_T^2 \partial t^2} \quad E - 3$$

$$\frac{\partial^2 H_p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H_p}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 H_p}{c_T^2 \partial t^2}, \quad p = x, y, z \quad E - 4$$

$$\phi = f(y)e^{i\xi x - i\omega t} \quad y \quad H_z = h_z(y)e^{i\xi x - i\omega t} \quad E - 5$$

De las ecuaciones E-3 y E-4 se deduce que:

$$\frac{d^2 f}{dy^2} + \alpha^2 f = 0, \quad \frac{d^2 h_z}{dy^2} + \alpha\beta^2 h_z = 0 \quad E - 6$$

Los parámetros α y β son iguales a:

$$\alpha = \sqrt{\frac{w^2}{c_L^2} - \xi^2} = \sqrt{k_L^2 - \xi^2}, \quad \beta = \sqrt{\frac{w^2}{c_T^2} - \zeta^2} = \sqrt{k_T^2 - \xi^2} \quad E - 7$$

Con las raíces cuadradas reales, la solución general de la ecuación E-6, son las ondas sinusoidales, que tienen la siguiente expresión matemática:

$$\phi = A_p e^{i(\xi x - \alpha y - \omega t)} + B_p e^{i(\xi x + \alpha y - \omega t)}, \quad H_z = A_p e^{i(\xi x - \alpha y - \omega t)} + B_p e^{i(\xi x + \alpha y - \omega t)} \quad E - 8$$

los primeros términos a la derecha son las ondas incidentes y los segundos son las ondas reflejadas. Si se suministran las amplitudes incidentes AP, AS y se requiere conocer las propiedades de las ondas reflejadas BP y BS.

Los componentes de número de onda se pueden escribir en la forma polar:

$$(\xi, \alpha) = k_L(\sin \theta_L, \cos \theta_L), \quad (\zeta, \beta) = k_T(\sin \theta_T, \cos \theta_T) \quad E - 9$$

en donde (k_L, k_T) son los números de onda y (θ_L, θ_T) son las direcciones de las ondas P y SV, respectivamente. Reescribiendo la ecuación E-8, se obtiene:

$$\phi = A_p e^{ik_L(\sin \theta_L x - \cos \theta_L y - \omega t)} + B_p e^{i(\sin \theta_L x + \cos \theta_L y - \omega t)} \quad E - 10$$

$$H_z = A_s e^{i(\sin \theta_T x - \cos \theta_T y - \omega t)} + B_s e^{i(\sin \theta_T x + \cos \theta_T y - \omega t)} \quad E - 11$$

Como se debe satisfacer E-1, basándose en $y = 0$ para todo x , debe cumplirse que:

$$k_L \sin \theta_L = k_T \sin \theta_T, \quad \text{para cuando } (\xi = \zeta) \quad E - 12$$

Aplicando ahora la ley de Snell, se obtiene:

$$\frac{\sin \theta_L}{c_L} = \frac{\sin \theta_T}{c_T} \quad E - 13$$

Por lo tanto,

$$\frac{\sin \theta_L}{\sin \theta_T} = \frac{c_L}{c_T} = \frac{k_T}{k_L} \equiv k \quad E - 13$$

Aplicando la ecuación E-1, cuando $y = 0$, los factores exponenciales se cancelan, obteniendo dos condiciones algebraicas para las dos amplitudes desconocidas de las ondas reflejadas (B_p, B_s):

$$k_L^2(2\sin^2\theta_L - k^2)(A_p + B_p) - k_T^2 \sin 2\theta_T (A_s - B_s) = 0 \quad E - 14$$

$$k_L^2 \sin 2\theta_L (A_p + B_p) - k_T^2 \cos \theta_T (A_s + B_s) = 0 \quad E - 15$$

Tomando en consideración la ecuación E-13, se obtiene:

$$2\sin^2\theta_L - k^2 = k^2(2\sin^2\theta_T - 1) = -k^2 \cos 2\theta_T \quad E - 16$$

Las ecuaciones, E-14 y E-15, se pueden resolver y la solución expresada en forma matricial:

$$\begin{Bmatrix} B_p \\ B_s \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{pp} & S_{sp} \\ S_{ps} & S_{ss} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} A_p \\ A_s \end{Bmatrix} \quad E - 17$$

El valor de S corresponde a la dispersión:

$$S = \begin{bmatrix} S_{pp} & S_{sp} \\ S_{ps} & S_{ss} \end{bmatrix} \quad E - 18$$

De igual forma, S_{ps} representa la onda S reflejada, debido a la onda P Incidente, de amplitud unitaria. Los valores correspondientes a S_{pp} , S_{sp} , S_{ps} y S_{ss} son los siguientes:

$$S_{pp} = S_{ss} = \frac{\sin 2\theta_L \sin 2\theta_T - k^2 \cos^2 2\theta_T}{\sin 2\theta_L \sin 2\theta_T + k^2 \cos^2 2\theta_T} \quad E - 19$$

$$S_{sp} = \frac{-2k^2 \sin 2\theta_T \cos 2\theta_T}{\sin 2\theta_L \sin 2\theta_T + k^2 \cos^2 2\theta_T} \quad E - 20$$

$$S_{ps} = \frac{2 \sin 2\theta_T \cos 2\theta_T}{\sin 2\theta_L \sin 2\theta_T + k^2 \cos^2 2\theta_T} \quad E - 21$$

Y el valor de K es igual:

$$k = \frac{c_L}{c_T} = \sqrt{\frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu}} \quad E - 22$$

La matriz de dispersión está en función del índice de Poisson y del ángulo de incidencia.

a) Incidencia de la onda P: Para el caso especial en el que la única onda incidente es la onda P; entonces, $A_s = 0$ y sólo son relevantes S_{pp} y S_{sp} . En general se cumple que $\theta_L > \theta_T$. Para una incidencia normal, $\theta_L = 0$

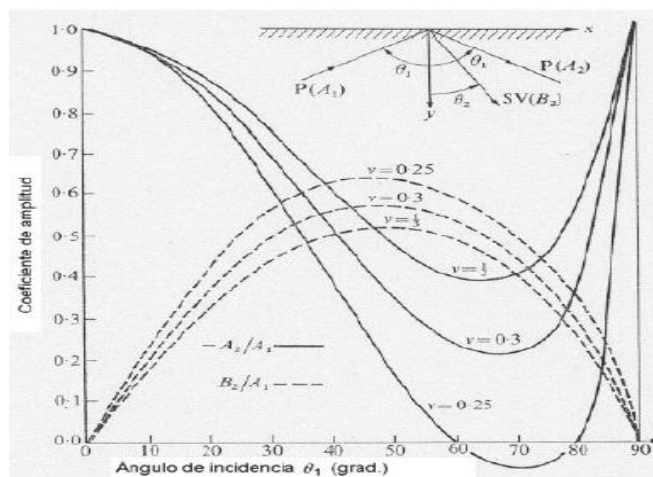
$$S_{pp} = -1, \quad S_{ps} = 0 \quad E - 23$$

Concluyendo que no hay onda SV. Por otro lado, si:

$$\sin 2\theta_L \sin 2\theta_T - k^2 \cos^2 2\theta_T = 0 \quad E - 24$$

A la sazón, únicamente se refleja la onda SV. Es el caso de la conversión de modo, por el cual una onda incidental P, cambia a onda SV, después de la reflexión. La magnitud de la amplitud de la onda reflejada SV es:

$$\frac{B_s}{A_p} = S_{ps} = \frac{\tan 2\theta_T}{k^2} \quad E - 25$$



coeficientes de amplitud para ondas incidentes P para varios índices de Possion.

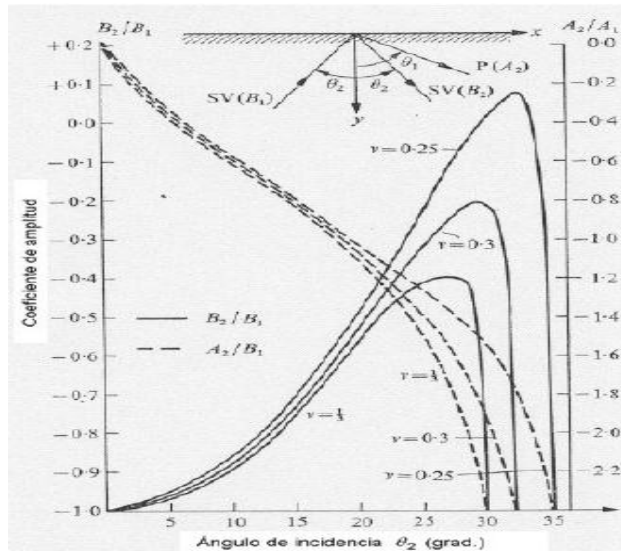
De Graff: "Waves in Elastic Solids". Los símbolos tendrían que transformarse conforme a:

$$A_1 \rightarrow A_P, A_2 \rightarrow B_P, B_1 \rightarrow A_S, B_2 \rightarrow B_S.$$

b) Incidencia de onda SV: Si $A_P = 0$. Entonces, sólo S_{SP} y S_{SS} son relevantes. Para una incidencia normal, $S_{SS} = -1$, y $S_{SP} = 0$. La conversión de modo, también tiene lugar cuando se satisface la ecuacion E-24. Ya que $\theta_L > \theta_T$, hay un ángulo de incidencia crítico θ_T , más allá del cual la onda P no se puede propagar en un medio sólido. El ángulo crítico está definido por:

$$\sin\theta_L = 1, \quad o \quad \sin\theta_T = \frac{1}{k} \quad E - 26$$

Así, para $\nu = 1/3$ y $K=2$, el ángulo de incidencia crítico es $\theta_T = 30^\circ$, debido a que la onda P se propaga por el eje x.



Coeficientes de amplitud de onda reflejada para ondas incidentes SV para varios índices de Possion. De Graff: "Waves in Elastic Solids". Los símbolos tendrían que transformarse conforme a:

$$A_1 \rightarrow A_P, A_2 \rightarrow B_P, B_1 \rightarrow A_S, B_2 \rightarrow B_S.$$

Más allá del ángulo crítico de incidencia, las ondas P decaen exponencialmente lejos de la superficie libre. La amplitud de la onda SV es lineal en "y", que es no física, lo que sugiere la limitación de la asunción del espacio no acotado.

2. **ONDAS SH:** Las ondas, como ya se mencionó, se propagan en el plano vertical de x, y. Las cantidades físicas se suponen uniformes en la dirección z, por esta razón $\frac{\partial}{\partial z} = 0$, por lo tanto,

$$\frac{\partial H_x}{\partial x} + \frac{\partial H_y}{\partial y} = 0 \quad E - 27$$

Apoyándose en la ecuación E-27, se introduce la función de flujo ψ , de tal manera que:

$$H_x = -\frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad H_y = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad E - 28$$

$$\nabla^2 \psi = \frac{\partial^2 \psi}{c_T^2 \partial t^2} \quad E - 29$$

$$u_z = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \nabla^2 \psi \quad E - 30$$

$$\tau_{yz} = \mu \frac{\partial}{\partial y} \nabla^2 \psi = \frac{\mu \partial^3 \psi}{c_T^2 \partial y \partial t^2} \quad E - 31$$

Utilizando la condición de frontera, de tensión cero, se tiene que:

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \quad E - 32$$

De esta manera se puede plantear una analogía para ψ , con las ondas de sonido reflejadas por un plano sólido. La solución para las ondas incidentes monocromáticas es de la forma:

$$\psi = (Ae^{-i\beta y} - Ae^{i\beta y})e^{i\alpha x - i\omega t} \quad E - 33$$

Donde,

$$\alpha^2 + \beta^2 = k_T^2 \quad E - 34$$

Cuando el acotamiento es cualquier superficie cilíndrica con eje paralelo al eje z, la condición sin tensión vale:

$$\tau_{zn} = 0, \quad \text{en } B. \quad E - 35$$

Donde \mathbf{n} es la unidad externa normal a B . En el problema de ondas SH puras, el valor de τ_{zn} es:

$$\tau_{zn} = \mu \frac{\partial u_z}{\partial n} = \frac{\partial}{\partial n} \nabla^2 \psi = \frac{\mu \partial^2 \psi}{c_T^2 \partial n \partial t^2} \quad E - 36$$

La condición expresada en la ecuación E-35, implica:

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = 0, \quad \text{en } B. \quad E - 37$$

De esta forma la analogía con la dispersión acústica por parte de un objeto duro es cierta al margen de la geometría del dispersor.