

Determinación de los espectros de respuesta sísmica para los suelos de la ciudad de Pereira utilizando análisis unidimensionales.

Determination of seismic spectra response for Pereira city soils using dimensional analysis.

Leonardo Cano Saldaña*
 Gloria Milena Molina Vinasco**
 Natalia Mejía Martínez***
 Dany Alejandro Henao Ochoa****
 Juan David Orrego Damelines*****

Resumen

El presente proyecto determinó el espectro de respuesta sísmica para las siete zonas sísmicas de la ciudad de Pereira, con base en la información geotécnica de los suelos contenida en el estudio de Microzonificación sísmica elaborado por la universidad de los Andes en el año de 1999 y en la información de respuesta sísmica disponible en los acelerógrafos locales, nacionales y mundiales, las simulaciones, se realizaron con el algoritmo SHAKE91 (Idriss y Sun, 1993) que evalúa la respuesta sísmica del suelo mediante el análisis unidimensional de propagación de ondas. Los espectros fueron comparados con los espectros teóricos propuestos en la norma sismo resistente NSR-10. Durante las simulaciones se logró determinar que la mayor parte de la ciudad corresponde a suelos derivados de cenizas volcánicas pertenecientes a la zona de microzonificación 3, estos tienen una respuesta dinámica entre 0.4 seg y 0.8 seg con una amplificación promedio de 7.42g. Dichos suelos son más susceptibles a ser excitados por sismos de fuentes intermedias con una distancia hipocentral entre 50 y 60 km.

Palabras Claves: Microzonificación Sísmica, análisis unidimensionales, Espectro de diseño

Abstract

This project determined the seismic response spectrum for the seven seismic zones of the city of Pereira, based on the information contained geotechnical soils in seismic microzonation study prepared by the University of the Andes in the year 1999 and in seismic response information available in the accelerometers local, national and global, to perform simulations, we use the program SHAKE91 (Idriss and Sun, 1993) that evaluates the seismic response of the soil by one-dimensional analysis of wave propagation. The spectra were compared with theoretical spectra proposed in the standard earthquake resistant NSR-10. During the simulations were able to determine that most of the city corresponds to volcanic ash soils belonging to the area of microzoning 3, these have a dynamic response between 0.4 sec and 0.8 sec with 7.42g average amplification. Such soils are more susceptible to be excited by earthquakes intermediate sources with a hypocentral distance of 50 to 60 km.

Keywords: Seismic microzonation, dimensional analysis, design spectrum.

* PhD. Universidad del Quindío. lcano@sismicayestructural.com
 ** MSc. Universidad libre. gmmolina@unilibrepereira.edu.co
 *** Master Ing. Universidad Libre. ing.civil@unilibrepereira.edu.co
 **** Ing. Universidad Libre. dahoingcivil@gmail.com
 ***** Ing. Universidad Libre. judacivil@gmail.com

I. INTRODUCCIÓN

Estudios de amenaza sísmica sitúan al departamento de Risaralda como una zona de alta sismicidad, circundado por un complejo sistema de fallas que generan numerosos sismos que se registran anualmente en la región. El desarrollo de la ciudad de Pereira se ha dado a través del tiempo y se refleja considerablemente en las tipologías constructivas que se han manejado culturalmente en el área. La variabilidad en el tipo de suelos y sus tipologías constructivas la identifican como una ciudad con vulnerabilidad alta, ante la ocurrencia de un sismo.

El Terremoto del Quindío (25-01-1999, Mw=6.2) se constituye en uno de los eventos naturales de mayor impacto económico en la historia de Colombia, y se considera como el mayor desastre en términos de personas damnificadas o afectadas por el mismo (INGEOMINAS, 1999) [1]. En 1999, como respuesta inmediata de dicho evento, instituciones como INGEOMINAS, CARDER, La Alcaldía de Pereira, emprendieron una evaluación integral de la zona afectada por el terremoto, que incluyó análisis geofísicos, sismológicos y una zonificación sísmica de la ciudad de Pereira.

Con base en dicha información este presente proyecto determino el espectro de respuesta sísmica y las funciones de transferencia para las siete zonas sísmicas de la ciudad de Pereira, mediante simulaciones unidimensionales de propagación de ondas, para contribuir con el análisis de evaluación de riesgo sísmico en la ciudad.

La conjunta iniciativa entre La Alcaldía de Pereira, la CARDER y el Banco Mundial a través del proyecto EVALUACIÓN PROBABILÍSTICO DE RIESGO, ha encaminado la presente propuesta hacia el mejor entendimiento del riesgo sísmico de la ciudad, razón por la cual es de trascendental importancia recopilar, ordenar, clasificar y adecuar parte de los estudios previos con el fin de obtener los insumos de información básicos de entrada para modelos matemáticos de evaluación de pérdidas. Lo cual recoge el interés conjunto por conocer y modelar los posibles escenarios de riesgo sísmico y orientar los resultados hacia políticas y planes efectivos de mitigación de riesgo.

II. METODOLOGÍA

El proyecto se desarrolló en tres fases principales que fueron: i) Fase I Sismos de análisis: selección de tres sismos de influencia directa sobre las estructuras de la ciudad provenientes de una fuente cercana, intermedia y lejana, ii) Fase II Modelos Estratigráficos: caracterización física y mecánica de distintos perfiles estratigráficos del subsuelo para cada una de las zonas sísmicas definidas en el estudio de Microzonificación Sísmica del municipio de Pereira, iii) fase III: Simulación: análisis de la información definida en las fases I y II usando el algoritmo SHAKE91 para obtener las funciones de transferencia del espectro de zonificación para distintas escalas de la aceleración máxima.

A continuación se realiza la explicación detallada del trabajo realizado y los criterios y consideraciones que se tuvieron en cuenta para llegar al resultado final.

A. Fase I. Sismos de análisis.

De acuerdo con Ramos y Monsalve 2008 [2], es importante aclarar que dentro de un proceso de evaluación probabilista de la amenaza, para poder definir fallas locales acordes con la realidad es necesario poseer catálogos instrumentales de movimientos sísmicos de por lo menos 100 años y que estos catálogos estén completos tanto en magnitudes altas como bajas, y poder obtener así regresiones de magnitudes y valores de recurrencia sísmica, en concordancia a la actividad sísmica de la región.

Debido a la ausencia de amplios registros de señales en roca dentro de la ciudad de Pereira, así como de señales sísmicas representativas para sismos de diseño, en los registros de los acelerógrafos instalados en la ciudad, Quintana y Buitrago 2008 [4], la selección de las señales equivalentes se basaron en las consideraciones definidas en el Estudio de la Amenaza Sísmica del Eje Cafetero. 1999 [3] para fuente cercana, intermedia y lejana.

De acuerdo con éste estudio los tres escenarios sísmicos de mayor influencia en la zona son: Falla Romeral (Magnitud 6.9+0.1 Ms, distancia hipocentral 20 a 30 km), Falla Cauca (Magnitud 6.5+0.1 Ms, distancia hipocentral 50 a 60 km) y la zona de subducción (Magnitud 7.7+0.1 Ms, distancia hipocentral 90 a 120 km). A continuación se realiza una breve descripción de cada uno, se hace énfasis en que los eventos sísmicos fueron registrados en roca.

Falla Romeral: La falla Romeral está conformada por tres grandes fallas llamadas, Cauca Almager, Silvia-Pijao y San Jeronimo, estas fallas han tenido gran importancia, pero su

actividad durante el cuaternario ha sido muy baja. En la tabla 1 se presenta los sismos seleccionados en el estudio para esta falla.

Tabla 1. Sismos Seleccionados para el sistema de la falla Romeral. Zona sísmica cercana

EVENTOS PARA EL SISTEMA DE FALLA ROMERAL							
Identificación	Fecha	Hora	Ms	Estación	Am (cm/s ²)	D. hip (Km)	T.Suelo
FRIULI	06/05/1976	21:06	6,5	TOLMEZO-DIGA A.	341,5	9	Roca
SOUTH ICELAND	17/06/2000	06:57	6,6	FLAGBJARNARHOLT	333,35	5	Roca
NORTHRIGE	17/01/1994	12:31	6,7	TOPANGA	327	18	Roca
KGS007	26/03/1997	14:38	6,5	ULCINJ	231,03	8	Roca

Fuente: García y Castillo 2011 [5].

Falla Cauca: La falla cauca es considerada como la más importante del sistema de Fallas Romeral, tiene una baja actividad sísmica, viene

desde el sur del país hasta el departamento de Antioquia. En la Tabla 2 se presenta los sismos seleccionados en el estudio para esta falla.

Tabla 2. Sismos Seleccionados para el sistema de la Falla Cauca. Zona sísmica intermedia

EVENTOS PARA EL SISTEMA DE FALLA CAUCA							
Identificación	Fecha	Hora	Ms	Estación	Am (cm/s ²)	D. hip (Km)	T.Suelo
SOUTH ICELAND	17/06/2000	06:57	6,6	HRAUNEY JAFOS	147,88	61	Roca
NORTHRIGE	17/01/1994	12:31	6,7	CSULA ADMIN (8-STORY)	155,63	42,5	Roca
MILFORD SOUND	04/05/1976	13:56	6,5	M.S.HOTEL FIORDLAND	131,85	-	Roca

Fuente: García y Castillo 2011 [5]

Falla Subducción: La falla Subducción es el resultado de la interacción de la Placa de Nazca, La Placa Caribe y La Placa Suramericana, esta posee una actividad sísmica alta, que la hace el

foco de continuos eventos sísmicos. En la Tabla 3 se presenta los sismos seleccionados en el estudio para esta falla.

Tabla 3. Sismos Seleccionados para el sistema de la Falla Subducción. Zona sísmica Lejana

EVENTOS PARA EL SISTEMA DE FALLA SUBDUCCION							
Identificación	Fecha	Hora	Ms	Estación	Am (cm/s ²)	D. hip (Km)	T.Suelo
PAULT_ACE.S90E	16/10/1999	09:47	7,1	PAULETTE CANADA	190	181,2	Roca
ROSAT_ACE.N15W	16/10/1999	09:47	7,1	DEL ROSA WORK	320	101,8	Roca
ACAJT_ACE.N90W	13/01/2001	17:34	7,6	ACAJUTLA	114	159,2	Roca

Fuente: García y Castillo 2011 [5]

Adicional a esto, de acuerdo con las recomendaciones de los funcionarios de la CARDER e INGEOMINAS, se verificaron los resultados obtenidos para la función de transferencia de un sismo de fuente cercana, usando el sismo Tarapaca- Chile, que se muestra en la figura 4. La fecha de registro es de Junio 13 de 2005, magnitud de 7.9 Mw, La

estación de registro Iquique Aceleración máxima registrada 0.2315 g¹.

¹ Datos Obtenidos de la Red Sismológica de la Universidad de Chile

B. Fase II Modelos Estratigráficos

Con base en la información disponible en el estudio de “Exploración Geotécnica, Investigación de Laboratorio y Zonificación Sísmica de Pereira, Dosquebradas y Santa Rosa de Cabal (Departamento de Risaralda) 1999 [6], se realizó la determinación de distintos modelos estratigráficos para cada zona sísmica del municipio de Pereira, en los modelos se realizó un análisis de sensibilidad en la variación del espesor del estrato de cenizas volcánicas.

De acuerdo con Yamin et al 2000 [7] para el estrato de suelos derivados de cenizas se encuentran índices de plasticidad variando entre 0 y 110%, con humedades naturales entre 10 y 200%, densidades húmedas entre 1.2 y 2.0 Ton/m³. Los rangos de velocidades de ondas de

cortante están entre 80 y 250 m/s y la resistencia a la compresión simple (q_u) basadas en compresiones confinadas del orden de 0.1 a 3 kg/cm². Se observó en su investigación una alta variación de las propiedades tanto estáticas como dinámicas.

Dentro de las propiedades estáticas y dinámicas del suelo tomaron los valores promedios de los resultados de los ensayos de peso unitario, velocidad de onda de cortante, para los estratos simulados y los modelos de curvas de degradación de rigidez y de amortiguamiento, para cada zona sísmica se tomaron de acuerdo con. El módulo de rigidez al corte máximo se estima con base en mediciones en campo de velocidades de onda de cortante en ensayos Cross Hole (norma ASTM-D4428M-91). (Tabla 4).

Tabla 4. Asignación de parámetros dinámicos a zonas geotécnicas

ZONA	PERFORACIÓN CARACTERÍSTICA	ESPESOR TOTAL DEPÓSITO (m)	PROFUNDIDAD (m)	G/G _{máx}	β	BASAMENTO	V _s (m/s)
1		10 a 25	0-25	G2	β_2	Conglomerado	1300
2	UTP	22	0-6	G3	β_1	Conglomerado	1300
			6-14	G2	β_3		
			14-22	G3	β_1		
	Samaria						
3	No hay perforación	10-20	0-20	G2	β_2	Conglomerado	1000
4	Guadalcanal	32	0-18	G2	β_3	Conglomerado	1300
			18-32	G3	β_1		
	Fecode y Naranjito			G2	β_2		
5	Galicia	21	0-21	G3	β_3	Conglomerado	1000
6	---	2 a 10	0-10	G2	β_2	Conglomerado	1300
7	---	8 a 15				Depósitos aluviales	
8	Parque - Cuba	12 a 15	0-8	G2	β_2	Conglomerado	1300
9	El Bosque	> 20	0-20	G2	β_2	Suelo Residual	1000
10	Egoyá (Llenos Mecánicos)	< 18	0-18	G3	β_1	Conglomerado	1300
10*	Gamma (Lleno Hidráulico)	18	0-18	G3	β_1	Conglomerado	1000

Fuente. CARDER 1999 [6]

De acuerdo con el decreto 386 de 2000 [8], “Zonificación Sísmica de Pereira, se describen siete zonas sísmicas que corresponden con la base ambiental con énfasis en riesgo [9]

Zona 1: Se caracteriza superficialmente por depósitos de cenizas volcánicas, con espesores de 2 a 10 metros, intercaladas con lentes de conglomerado. Esta secuencia reposa sobre conglomerados de buena rigidez, cuya profundidad es mayor a los 120 metros.

Zona 2: Los depósitos característicos son las cenizas volcánicas de 10 a 20 metros de espesor localizadas sobre conglomerados de buena rigidez. La roca de alta densidad se encuentra a una profundidad de 40 a 70 m, y en otros sectores las cenizas reposan sobre terrazas aluviales semiconsolidadas, que llegan hasta 20-30 metros de profundidad.

Zona 3: El subsuelo está constituido por cenizas volcánicas con espesores de 20 a 25 metros, las

cuales reposan sobre conglomerados de buena rigidez y cementación que alcanzan una profundidad superior a 150 metros, para finalmente reposar sobre rocas de basamento de alta densidad. En otros sectores el subsuelo de la zona se caracteriza por tener cenizas volcánicas de 10 a 15 metros de espesor sobre conglomerados de buena cementación hasta una profundidad de 220 metros.

Zona 4: Depósitos de cenizas volcánicas de espesores de 25 a 35 metros sobre conglomerados de buena rigidez hasta una profundidad superior a 150 metros.

Zona 5: Depósitos aluviales semiconsolidados, con espesores entre 8 y 15 metros, en algunos casos con lentes pantanosos. Dichos depósitos aluviales se encuentran sobre conglomerados de buena rigidez que alcanzan profundidades mayores a 150 metros.

Zona 6. Llenos: Se caracterizan por relieves semiplanos, conformados por rellenos antrópicos, dispuestos en depresiones de diversas geometrías, y constituidos por materiales blandos a muy blandos de espesores entre 6 y 15 metros. Se encuentran en algunas ocasiones sobre cenizas volcánicas con profundidades hasta de 20 metros, y en otras sobre conglomerados de buena rigidez, los cuales continúan hasta profundidades mayores a 150 metros. De acuerdo al mecanismo de construcción o proceso de conformación, se han dividido en rellenos de vertimiento libre, hidráulicos, mecánicos de compactación rudimentaria y mecánicos de compactación tecnificada.

Zona 7: Se caracteriza por tener pendientes moderadas a altas, conformada por cenizas volcánicas, con espesores menores a 8 metros sobre suelo residual arcilloso que alcanza profundidades hasta de 22 metros, para continuar con la roca sana de alta densidad y rigidez.

C. Fase III. Simulación

Ya definidas las señales sísmicas y determinadas las condiciones geotécnicas

locales en los distintos modelos del subsuelo, puede estimarse, mediante la propagación de las señales en roca hasta la superficie del terreno las respuestas en superficie de los diferentes escenarios previstos. De acuerdo con esto, cada uno de los modelos planteados con cada una del conjunto de señales indicadas se corrió con el programa unidimensional SHAKE91 (Idriss y Sun, 1993)[10], el cual se basa en la propagación vertical de ondas de cortante en un medio semiinfinito y utiliza un procedimiento iterativo lineal equivalente para las propiedades dinámicas del suelo de tal forma que sean compatibles con el nivel de deformación por cortante impuesto por el sismo.

Las principales consideraciones del programa son:

1. Los estratos considerados para cada modelo son infinitos horizontalmente.
2. El registro de aceleración obtenido corresponde a la propagación vertical de la onda sísmica proveniente de la roca de basamento.
3. Capa estrato simulado es homogéneo, isotrópico y visco elástico caracterizado por su peso unitario, espesor, módulo de corte y factor de amortiguamiento.

III. RESULTADOS

En éste numeral se presentan los resultados de los espectros de amplificación suelo/roca para cada una de las zonas sísmicas, estos resultados se comparan con el espectro recomendado por la Microzonificación sísmica para cada una de las zonas y adicionalmente se realiza una corroboración de los resultados obtenidos entre el sismo Romeral 1 y el Sismo Tarapaca – Chile.

A. Espectros de amplificación normalizados

Se realizó una normalización de los resultados y se comparó con los espectros planteados en la zonificación sísmica de Pereira, construidos con los coeficientes espectrales definidos en la misma, que se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Coeficientes espectrales para el municipio de Pereira

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Zona 7
To	0,05	0,05	0,1	0,1	0,05	0,1	0,05
Tc	0,4	0,5	0,8	0,9	0,32	0,8	0,7
TL	2	2,5	4	4,5	1,6	4	3,5
Aa	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Fa	1,76	1,60	1,44	1,28	1,76	1,60	1,76
Fv	1,47	1,67	2,40	2,40	1,17	2,67	2,57

Fuente: CARDER 1999.[6]

En las figuras 1 a 7 se presentan los resultados de la comparación entre los espectros

propuestos por la Microzonificación sísmica 1999 y los resultados obtenidos en la simulación.

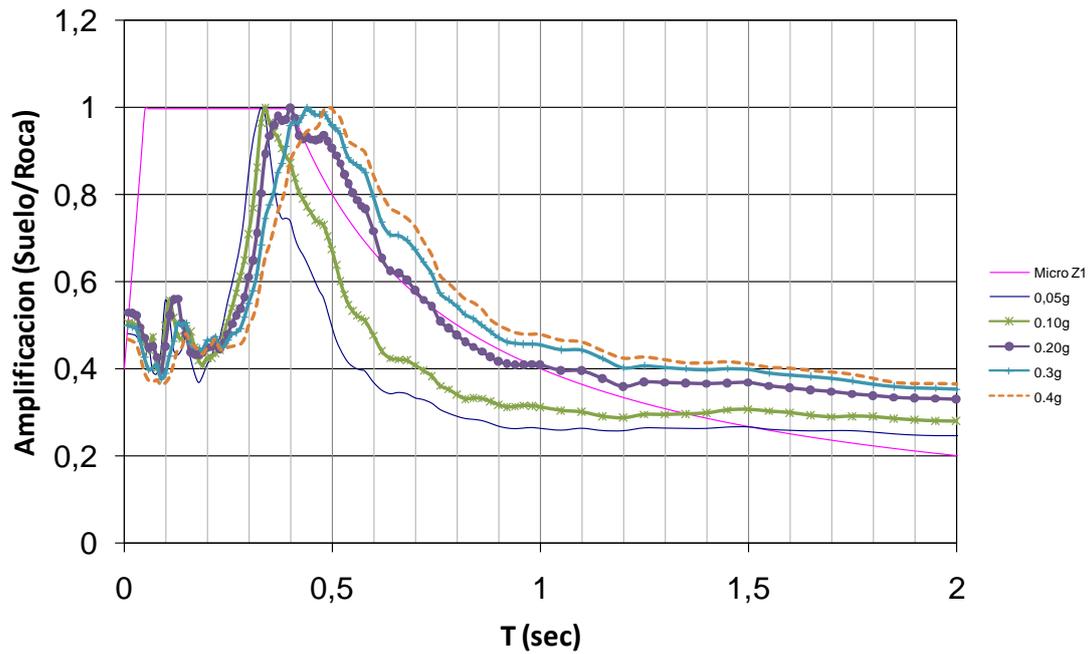


Figura 1. Espectros de amplificación normalizados para diferentes escalas de aceleración en la zona 1.

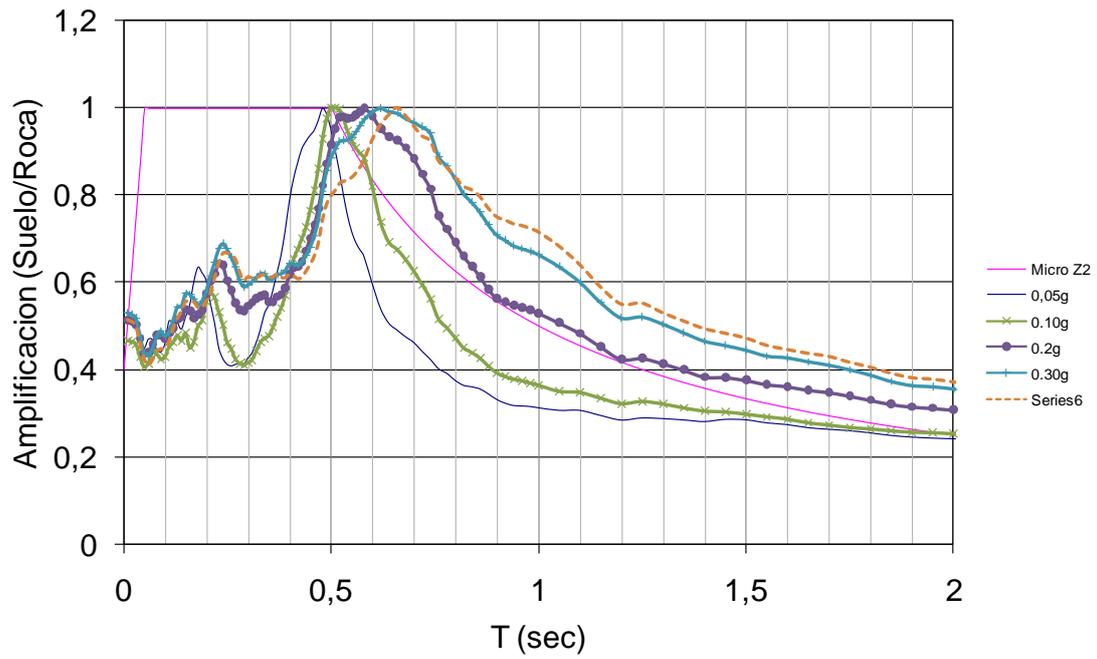


Figura 2. Espectros de amplificación normalizados para diferentes escalas de aceleración en la zona 2.

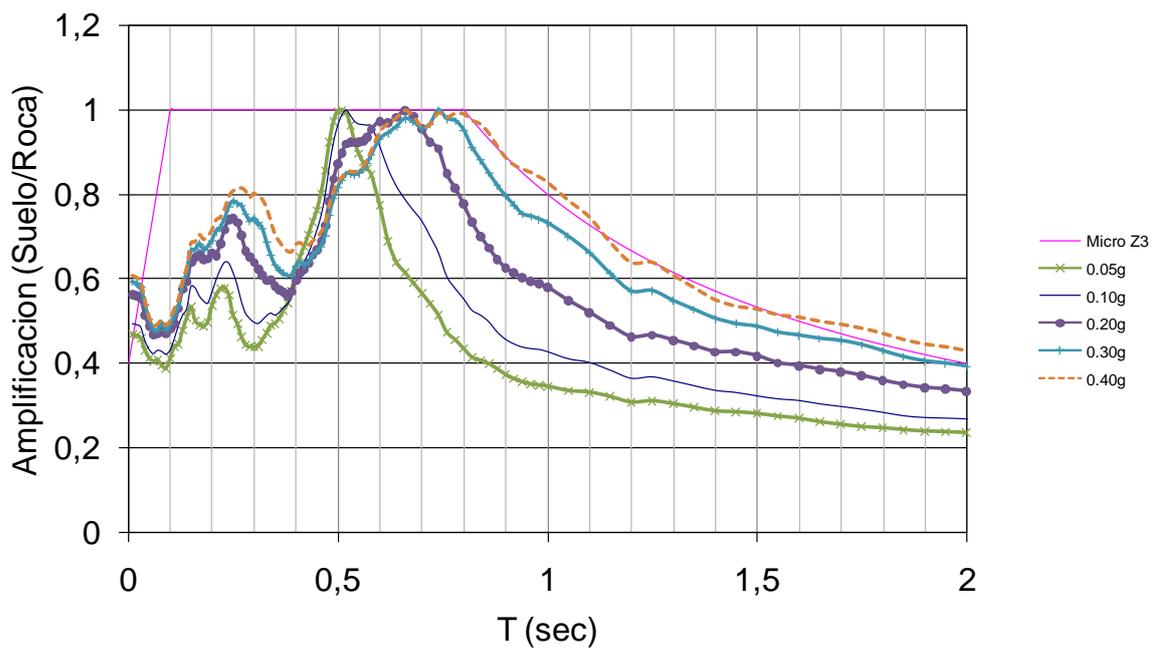


Figura 3. Espectros de amplificación normalizados para diferentes escalas de aceleración en la zona 3.

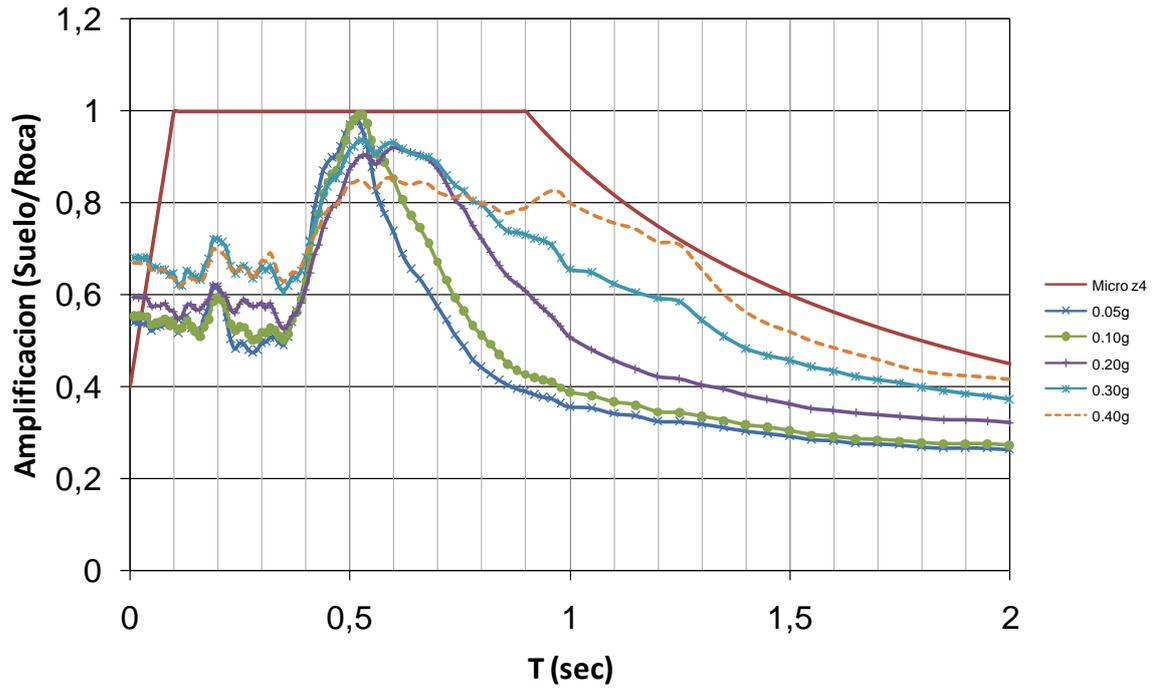


Figura 4. Espectros de amplificación normalizados para diferentes escalas de aceleración en la zona 4.

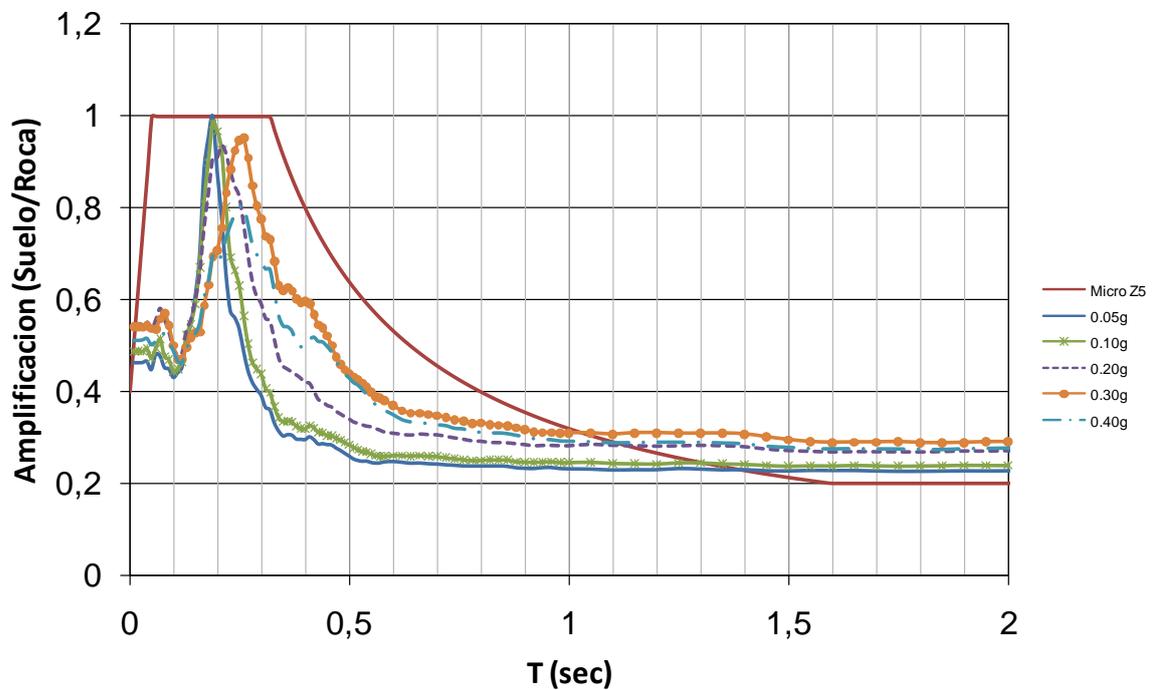


Figura 5. Espectros de amplificación normalizados para diferentes escalas de aceleración en la zona 5.

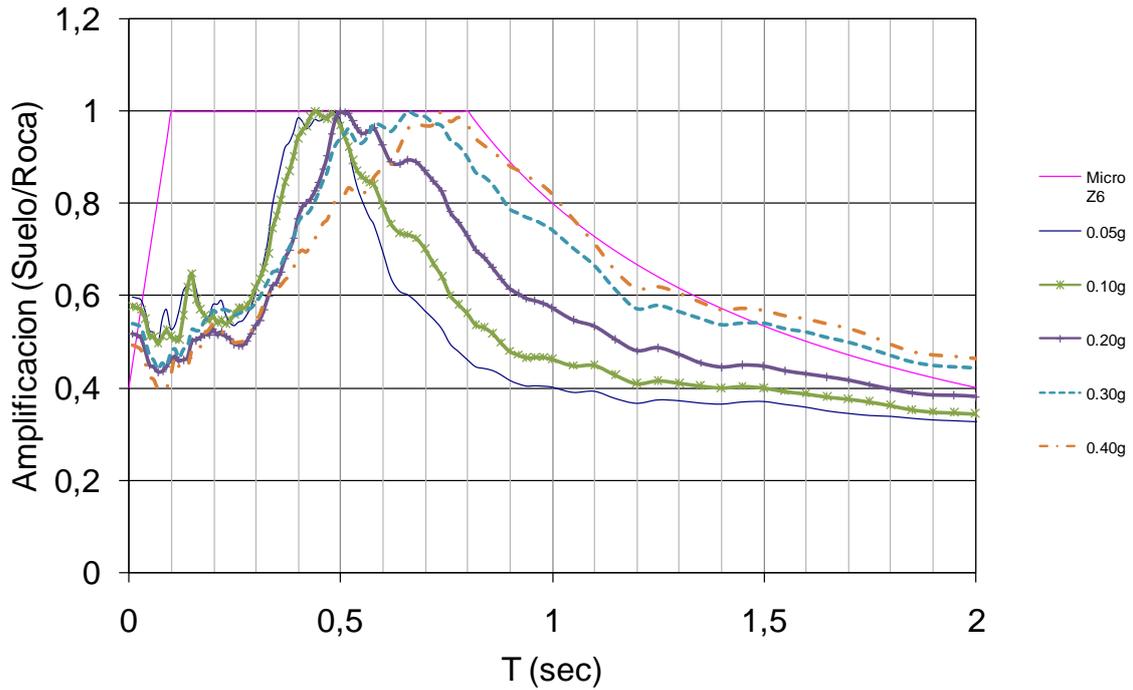


Figura 6. Espectros de amplificación normalizados para diferentes escalas de aceleración en la zona 6.

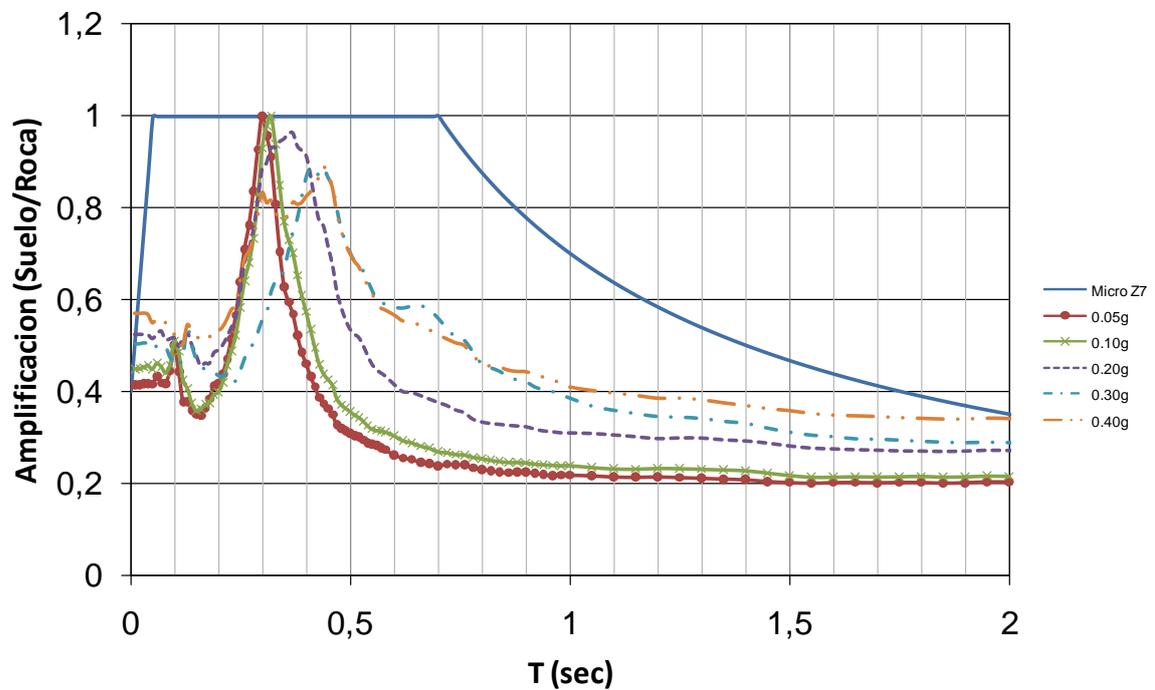


Figura 7. Espectros de amplificación normalizados para diferentes escalas de aceleración en la zona 7.

Se puede afirmar que la zona sísmica que presenta mayor amplificación es la zona 3 al hacer una comparación entre las siete zonas,

mostrando un valor pico de 7.45g alcanzado en un periodo de 0,51 seg, este comportamiento

demuestra que en este sector de la ciudad es más propenso a excitarse ante sismos intermedios.

Todas las simulaciones utilizando el programa EERA (algoritmo Shake 91) mostraron que la amplificación mayor de la onda sísmica en los espectros de respuesta se encuentra entre 0,5 seg y 1.0 seg, seguida por un descenso en la amplificación para periodos mayores.

Las zonas sísmicas 3 y 6 presentaron un espectro de respuesta similar al espectro de respuesta teórico obtenido con las ecuaciones propuestas por la Norma Sismo resistente NSR-10, se observa una mayor uniformidad en un intervalo de periodo de 0.5 seg y 1.0 seg.

Por el contrario, las zonas sísmicas de la ciudad de Pereira 5 y 7 están considerablemente por debajo del espectro de diseño establecido por la NSR-10 concluyendo que dicho espectro de diseño se puede ajustar a los valores obtenidos en las modelaciones, para obtener cálculos más ajustados a las simulaciones.

En general la mayor parte de la ciudad corresponde a cenizas volcánicas pertenecientes a la zona 3, estos suelos tienen una respuesta dinámica (para la ciudad) entre 0.4 seg y 0.8 seg con una amplificación promedio de 7.42g. Dichos suelos son más susceptibles a ser excitados por sismos de fuentes intermedias con una distancia hipocentral entre 50 y 60 km.

En la escala de 0.05 g se presenta la mayor amplificación debido a la presencia de un “ruido” en el programa EERA, el cual con estas escalas tan bajas en los sismos presenta una mayor claridad en los resultados mostrándose así la escala de 0.05 g como la mayor amplificación de todas.

Cuando se promedian los resultados según su fuente se observa que la zona sísmica 3 presenta la mayor amplificación con los sismos de la fuente Romeral mostrando un valor pico de amplificación de 8.83g en un periodo de 0.5 seg confirmando así que esta zona representa un riesgo alto por sus grandes amplificaciones.

En el promedio de los espectros de respuesta según su fuente se observa que en la zona sísmica 1 los resultados son muy similares entre las fuentes, mostrando así que la mayor amplificación es de 6.5g alcanzándola en el periodo de 0.3 seg proveniente de la fuente Romeral, además las mayor influencia de la onda ocurre entre 0.2 seg y 0.5 seg.

En la zona sísmica 2 cuando se promedia los espectros de respuesta según su fuente se observa que la fuente sísmica Romeral presenta una mayor amplificación de 8.6g alcanzándola en un periodo de 0.3 seg, con un periodo de mayor influencia de la onda que se encuentra entre 0.3 seg y 0.6 seg.

La fuente sísmica Cauca genera mayor amplificación en la zona sísmica 4 con un valor de 5.0 g alcanzándolo en un periodo crítico de 0.5 seg y una mayor influencia de la onda que oscila entre los periodos 0.3 seg y 0.7 seg siendo el periodo más amplio de influencia entre todas las zonas sísmicas.

En la zona sísmica 5 los espectros de respuesta pertenecientes a cada una de la fuentes sísmicas se observan similares mostrando una amplificación máxima de 5.0 g en un periodo de 0.2 seg con una mayor influencia de la onda entre los 0.1 seg y 0.3 seg.

En la zona sísmica 6 se observa que la fuente sísmica con mayor amplificación es Romeral mostrando así que su mayor valor es de 5.1g lográndolo en un periodo crítico de 0.4 g con una mayor influencia de la onda sísmica oscilando entre los periodos de 0.3 seg y 0.6 seg.

Para la zona sísmica 7 se observa cierta uniformidad entre los espectros de respuesta de cada fuente con un valor máximo de amplificación de 6.4g logrado en un periodo de 0.3 seg perteneciente a la fuente sísmica subducción con una influencia de la onda actuando entre los periodo de 0.2 seg y 0.4 seg.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con la finalidad de poder obtener la respuesta sísmica de los suelos de la ciudad de Pereira, se calcularon las funciones de transferencia empíricas para cada una de las zonas que conforman el mapa de microzonificación sísmica de la ciudad.

Se tuvieron en cuenta los datos geotécnicos recopilados de los estudios realizados por el proyecto de Mitigación del Riesgo Sísmico desarrollado por la CARDER en 1999., para cada una de las zonas se elaboraron diferentes modelos de perfil con el fin de determinar la sensibilidad de las respuestas obtenidas a los diferentes modelos.

Los sismos en la roca base, fueron seleccionados de las bases de datos mundiales incorporando relaciones distancia-magnitud y condiciones tectónicas, compatibles con la geología local y regional. Se incluyó un sismo adicional de corroboración (Tarapaca-Chile) sugerido por el grupo asesor de Ingeominas-Carder.

Los sismos seleccionados fueron escalados a 5 niveles de aceleración e introducidos en cada uno de los modelos de suelos establecidos, en total se consideraron 785 modelos de análisis para la obtención de las funciones de transferencia.

Para cada zona de la ciudad, se definieron las funciones de transferencia agrupándolas para cada una de las intensidades de aceleración, estas funciones fueron ajustadas a 34 periodos, entre 0.01 y 3 segundos intervalo que se consideró de mayor impacto en la respuesta suelo/roca y que fue definido en reunión del equipo técnico Ingeominas-CARDER-UL en Pereira.

Para las zonas 1y 2 existe un ligero corrimiento hacia la zona de periodos largos de las funciones de transferencia si estas son comparadas con los espectros propuestos por el estudio de microzonificación sísmica de Pereira.

Para la realización de una microzonificación sísmica se recomienda realizar un mayor número de perforaciones para cubrir toda el área urbana y la posible ampliación que pueda tener esta en un futuro próximo y así obtener resultados consistentes del comportamiento del suelo ante eventos sísmicos.

Según esta investigación y los resultados obtenidos por Quintana y Buitrago 2010 [4] y Bermúdez y Duarte (2002) [11] es importante la instalación de una red de acelerógrafos en la ciudad, con el fin de comparar los resultados del período fundamental del suelo obtenidos con registros de sismos fuertes generados por fuentes cercanas, lejanas e intermedias, con los usados en la microzonificación sísmica y poder armonizar la microzonificación sísmica a la luz de la norma sismo resistente NSR-10.

REFERENCIAS

[1]. Ojeda , C. A, 1999. Evaluación de efectos de sitio para la Microzonificación sísmica de Pereira. INGEOMINAS.

[2]. Ramos M T, Monsalve J. H. Desagregación de la amenaza sísmica, caso:

Armenia – Colombia Revista. Investigaciones Universidad. Quindío (18): 70-80.

[3]. Cano S. L, Monsalve J. H, Espinosa B. A, Rubiano DM.,Paris Q. G, Guzmán J.. 1999. INGEOMINAS, CRQ, UNIQUINDÍO. Estudio de la Amenaza Sísmica del eje cafetero..

[4]. Quintana, R. M. L., y Buitrago M., Y. V.2010. Respuesta dinámica de los suelos de la ciudad de Pereira a la Luz de la NSR-10. Trabajo de grado Universidad Libre.

[5]. García P. A., y Castillo B, A. 2011 Estudio Numérico de la Propagación de las Ondas Sísmicas Sobre Taludes De Corte En Suelos de Origen Volcánico”. Caso Talud Estación del Ferrocarril y Talud Altos del Bosque. Universidad del Quindío.

[6]. CARDER, UNIVERSIDAD DE LOS ANDES y DNPDA. 1999. Exploración geotécnica, investigación de laboratorio y zonificación sísmica de Pereira, Dosquebradas y santa Rosa de Cabal.

[7]. Yamin L. E, Caicedo B. Solano E. et al 2000 (7) Evaluación de la Respuesta Dinámica del Subsuelo en Depósitos Volcánicos y sus Implicaciones para el Diseño Sísmico

[8]. Alcaldía de Pereira. 2000. Decreto 386 de 2000.

[9]. Vásquez, M,J., Campos, A.G, Cardozo P,D y Osorio R,G. 2000. Base Ambiental con énfasis en riesgo. CARDER- FOREC.

[10]. Idriss, I. M. y Sun, J I.1993. User's manual for SHAKE91: a computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits Center for Geotechnical Modeling, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis Davis, Calif., 1993, (480/S36/1992).

[11]. Bermúdez, M. L. y Duarte, J. A. (2002). “La red nacional de acelerógrafos de Colombia”. Memorias Primer Simposio Colombiano de Sismología, Bogotá, Colombia.