

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DETERMINACIÓN DE LOS ESPECTROS DE ACELERACIÓN DE RESPUESTAS ELÁSTICAS DE PISO DE ESTRUCTURAS

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Civil
Por los Brs. Rodríguez P. Angie R,
Rojas C, Gabriela P

Caracas, Octubre 2005

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DETERMINACIÓN DE LOS ESPECTROS DE ACELERACIÓN DE RESPUESTAS ELÁSTICAS DE PISO DE ESTRUCTURAS

TUTOR ACADEMICO: Prof. Norberto Fernández
TUTOR COLABORADOR: Prof. Enrique Castilla

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de
Venezuela para optar al Título
de Ingeniero Civil
Por los Brs. Rodríguez P. Angie R,
Rojas C, Gabriela P

Caracas, Octubre 2005

ACTA

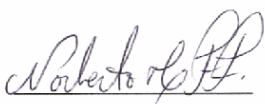
El día 10 de Noviembre de 2005, se reunió el jurado formado por los profesores Angelo Marinilli, Enrique Castilla y Norberto Fernández. Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado Titulado: "**DETERMINACIÓN DE LOS ESPECTROS DE ACELERACIÓN DE REPUESTAS ELÁSTICAS DE PISO DE ESTRUCTURAS**". Presentado Ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero Civil.

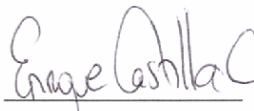
Una vez oída la defensa oral que las bachilleres realizaron de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió la siguiente calificación:

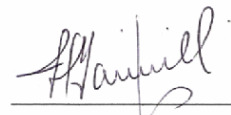
NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	NÚMERO	LETRAS
Angie R. Rodríguez P.	19	Diecinueve
Gabriela P. Rojas C.	19	Diecinueve

Recomendaciones (si las hubiera):

Firmas del Jurado:


Prof. Norberto Fernández


Prof. Enrique Castilla


Prof. Angelo Marinilli

Caracas, Noviembre 2005

DEDICATORIA

A DIOS, por ser mi guía y mejor confidente en los momentos en que te necesité.

A mi madre Rosa Pérez, porque siempre me has enseñado a ser fuerte en los momentos difíciles, porque me has apoyado en todo lo que he realizado, porque me has brindado tus enseñanzas y buenos consejos, Gracias!!!

A mi padre José Alexander Rodríguez, por ser mi fuente de inspiración al escoger esta carrera, gracias por todo el apoyo que me has dado en el transcurso de mi carrera y de mi vida.

A mis hermanas, Annie Roxandra, Astrid Alexandra y Nisbely Alexandra, porque son mi fuerza para seguir adelante para darles lo mejor de mí y el mejor de los ejemplos. Las quiero mucho.....Gracias.

A Eudis Cedeño, por ser pieza fundamental en mi vida, por llenar mi vida de amor, alegría, consejos y momentos gratos, por todas las cosas buenas que trajiste a mi vida, porque en los momentos en los que decaí estuviste a mi lado dándome aliento. Gracias por ser mi apoyo y creer en mí...Te amo!!!

A mi amiga y compañera de Tesis, Gabriela Rojas, gracias por brindarme tu amistad y por acompañarme en este gran sueño.

A la Familia Cedeño, Mama Oma, Papa Luís, Elvis, Edward, Edwin, Eudis, Erifer, Beatriz, Denisse, Ana, Luís Angel y Edgard Alfonso, por brindarme todo su cariño y apoyo en todo momento, por abrirme las puertas de su hogar y acogerme como una integrante más de la familia. Gracias!!!

Angie Roxana Rodríguez

DEDICATORIA

A mis padres Ali y Aída Rojas por las enseñanzas y educación que me brindaron sobre todas las cosas.

A mis sobrinitos Salomón, Camila y Sebastián por haber llegado a mi vida y ser pieza fundamental en ella.

A mi amiga y compañera de tesis angie Rodríguez por su amistad y por brindarme toda su ayuda.

A Jehová mi Dios por estar siempre junto a mi, por ser mi bastón de apoyo y porque sin él no hubiese logrado todo lo que soy y seré.

Gabriela Rojas

AGRADECIMIENTOS

A nuestros tutores profesor Norberto Fernández y profesor Enrique Castilla por su ayuda incondicional en la elaboración de este trabajo.

A Yeimi Silva secretaria del IMME, por todas sus atenciones y colaboración.

A nuestras amigas, Ivanissa, Jessali, Yohanna, Erika, Ismary y Ciriana, por toda su colaboración, por tener siempre una palabra de aliento y hacernos compañía en los momentos más difíciles.

A mi compañera de tesis y amiga Angie Rodríguez por su gran dedicación al realizar este trabajo. – Gabriela Rojas

A mis hermanos y cuñados por su apoyo. – Gabriela Rojas.

**Rodríguez P. Angie R,
Rojas C. Gabriela P.**

DETERMINACIÓN DE LOS ESPECTROS DE ACELERACIÓN DE RESPUESTAS ELÁSTICAS DE PISO DE ESTRUCTURAS

Tutor Académico: Prof. Norberto Fernández. Tesis. Caracas, UCV Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2005, n° pág. 116.

Palabras Claves: Elementos no estructurales, Espectros de piso, Acelerogramas Artificiales, Aceleraciones máximas de piso.

Resumen

El presente trabajo consistió en una propuesta de metodología para la determinación de los espectros de aceleración de piso elásticos en estructuras de concreto armado Tipo I y Tipo III, a partir de los espectros de respuesta elástica propuestos en la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) “Edificaciones Sismorresistentes”. Para evaluar los espectros de piso, se generaron cinco acelerogramas artificiales para cada forma espectral a partir de los espectros de respuestas elásticas de la base propuesto en la Norma antes mencionada, y con estos se realizaron análisis dinámico lineal a cada estructura, para así obtener las historias de aceleraciones absolutas por piso y derivar de ellas los espectros de piso para amortiguamientos respecto al crítico de 0.02 y 0.05. Estos espectros se dividieron entre la máxima aceleración del piso obteniendo así los espectros normalizados de piso. De los análisis realizados se encontró que, independientemente de las propuestas espectrales y el factor de amortiguamiento la forma del espectro de piso está influenciada por las propiedades dinámicas de cada estructura, se evidenciaron picos donde ocurrían las amplificaciones máximas, estos coincidían con los periodos de vibración natural principales de cada estructura. Los espectros normalizados de piso poseen tres zonas bien definidas, una zona ascendente para periodos cortos, una descendente para periodos largos y una intermedia donde ocurren las amplificaciones máximas. Al comparar los espectros de piso para un amortiguamiento de 0.05 respecto al crítico con los espectros tipificados propuestos en la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) se pudo constatar que guardan cierta similitud en las zonas de periodos cortos y largos. Las amplificaciones máximas de piso se pueden comparar directamente con los valores de C_p previstos en la Norma, resultando que para amortiguamientos de 0.05 estos valores son muy cercanos. Se pudo evidenciar que para apéndices que tengan periodos naturales que no estén cercanos a los valores máximos de amplificación sería un tanto conservador utilizar el valor C_p establecido en dicha Norma.

LISTA DE TABLAS

Página

CAPÍTULO II

2.1 Valores de C_p para componente, apéndices e instalaciones.....	11
--	----

CAPÍTULO III

3.1 Propiedades Dinámicas del modelo tipo pórtico de 2 pisos.....	30
3.2 Propiedades Dinámicas del modelo tipo pórtico de 4 pisos.....	30
3.3 Propiedades Dinámicas del modelo tipo pórtico de 10 pisos.....	30
3.4 Propiedades Dinámicas del modelo tipo muro de 2 pisos.....	31
3.5 Propiedades Dinámicas del modelo tipo muro de 4 pisos.....	31
3.6 Propiedades Dinámicas del modelo tipo muro de 12 pisos.....	32

CAPÍTULO IV

4.1 Máximas Aceleraciones del piso 1 del modelo TP4.....	49
4.2 Máximas Aceleraciones por piso para el modelo TP4.....	52
4.3 Máximas Aceleraciones por piso para el modelo TP2.....	54
4.4 Máximas Aceleraciones por piso para el modelo TP10.....	56
4.5 Máximas Aceleraciones por piso para el modelo TM2.....	58
4.6 Máximas Aceleraciones por piso para el modelo TM4.....	60
4.7 Máximas Aceleraciones por piso para el modelo TM12.....	62

CAPÍTULO V

5.1 Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TP2.....	107
5.2 Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TP4.....	108
5.3 Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TP10.....	108
5.4 Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TM2.....	109
5.5 Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TM4.....	109
5.6 Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TM12.....	110

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO II

2.1 Espectros de Respuesta Elásticas Tipificados.....	9
2.2 Representación de modelos matemáticos para sistemas de un grado de libertad.....	23

CAPÍTULO III

3.1 Representación Gráfica del Modelo Tipo Pórtico de 2 pisos.....	25
3.2 Representación Gráfica del Modelo Tipo Pórtico de 4 pisos.....	25
3.3 Representación Gráfica del Modelo Tipo Pórtico de 10 pisos.....	26
3.4 Representación Gráfica del Modelo Tipo Muro de 2 pisos.....	27
3.5 Representación Gráfica del Modelo Tipo Muro de 4 pisos.....	27
3.6 Representación Gráfica del Modelo Tipo Muro de 12 pisos.....	28
3.7 Espectro de Aceleración para S1, S2 y S3.....	33
3.8 Acelerograma Artificial # 1 para S1.....	35
3.9 Acelerograma Artificial # 2 para S1.....	35
3.10 Acelerograma Artificial # 3 para S1.....	35
3.11 Acelerograma Artificial # 4 para S1.....	36
3.12 Acelerograma Artificial # 5 para S1.....	36
3.13 Acelerograma Artificial # 1 para S2.....	36
3.14 Acelerograma Artificial # 2 para S2.....	37
3.15 Acelerograma Artificial # 3 para S2.....	37
3.16 Acelerograma Artificial # 4 para S2.....	37
3.17 Acelerograma Artificial # 5 para S2.....	38
3.18 Acelerograma Artificial # 1 para S3.....	38
3.19 Acelerograma Artificial # 2 para S3.....	38
3.20 Acelerograma Artificial # 3 para S3.....	39
3.21 Acelerograma Artificial # 4 para S3.....	39
3.22 Acelerograma Artificial # 5 para S3.....	39
3.23 Espectros elásticos artificiales para S1.....	40
3.24 Espectros elásticos artificiales para S2.....	40
3.25 Espectros elásticos artificiales para S3.....	40
3.26 Espectro artificial promedio contra el de la Norma para S1.....	41
3.27 Espectro artificial promedio contra el de la Norma para S2.....	41
3.28 Espectro artificial promedio contra el de la Norma para S3.....	41

CAPÍTULO IV

4.1 Historia de Aceleraciones # 1 para el piso 1 del TP4S1.....	43
4.2 Historia de Aceleraciones # 2 para el piso 1 del TP4S1.....	43
4.3 Historia de Aceleraciones # 3 para el piso 1 del TP4S1.....	43

4.4 Historia de Aceleraciones # 4 para el piso 1 del TP4S1.....	44
4.5 Historia de Aceleraciones # 5 para el piso 1 del TP4S1.....	44
4.6 Historia de Aceleraciones # 1 para el piso 1 del TP4S2.....	44
4.7 Historia de Aceleraciones # 2 para el piso 1 del TP4S2.....	45
4.8 Historia de Aceleraciones # 3 para el piso 1 del TP4S2.....	45
4.9 Historia de Aceleraciones # 4 para el piso 1 del TP4S2.....	45
4.10 Historia de Aceleraciones # 5 para el piso 1 del TP4S2.....	46
4.11 Historia de Aceleraciones # 1 para el piso 1 del TP4S3.....	46
4.12 Historia de Aceleraciones # 2 para el piso 1 del TP4S3.....	46
4.13 Historia de Aceleraciones # 3 para el piso 1 del TP4S3.....	47
4.14 Historia de Aceleraciones # 4 para el piso 1 del TP4S3.....	47
4.15 Historia de Aceleraciones # 5 para el piso 1 del TP4S3.....	47
4.16 Espectros del piso 1 generados para el modelo TP4S1, $\xi = 0.05$	48
4.17 Espectros del piso 1 generados para el modelo TP4S2, $\xi = 0.05$	48
4.18 Espectros del piso 1 generados para el modelo TP4S3, $\xi = 0.05$	48
4.19 Espectros normalizados para el modelo TP4S1, $\xi = 0.05$	50
4.20 Espectros normalizados para el modelo TP4S2, $\xi = 0.05$	50
4.21 Espectros normalizados para el modelo TP4S3, $\xi = 0.05$	50
4.22 Espectro promedio normalizado para el modelo TP4S1.....	51
4.23 Espectro promedio normalizado para el modelo TP4S2.....	51
4.24 Espectro promedio normalizado para el modelo TP4S3.....	51
4.25 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP4S1, $\xi = 0.05$	53
4.26 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP4S2, $\xi = 0.05$	53
4.27 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP4S3, $\xi = 0.05$	53
4.28 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP2S1, $\xi = 0.05$	55
4.29 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP2S2, $\xi = 0.05$	55
4.30 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP2S3, $\xi = 0.05$	55
4.31 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP10S1, $\xi = 0.05$	57
4.32 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP10S2, $\xi = 0.05$	57
4.33 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP10S3, $\xi = 0.05$	57
4.34 Promedio de los espectros normalizados por piso para TM2S1, $\xi = 0.05$	59
4.35 Promedio de los espectros normalizados por piso para TM2S2, $\xi = 0.05$	59
4.36 Promedio de los espectros normalizados por piso para TM2S3, $\xi = 0.05$	59
4.37 Promedio de los espectros normalizados por piso para TM4S1, $\xi = 0.05$	61
4.38 Promedio de los espectros normalizados por piso para TM4S2, $\xi = 0.05$	61
4.39 Promedio de los espectros normalizados por piso para TM4S3, $\xi = 0.05$	61
4.40 Promedio de los espectros normalizados por piso para TM12S1, $\xi = 0.05$	63
4.41 Promedio de los espectros normalizados por piso para TM12S2, $\xi = 0.05$	63
4.42 Promedio de los espectros normalizados por piso para TM12S3, $\xi = 0.05$	63
4.43 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP2S1, $\xi = 0.02$	64
4.44 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP2S2, $\xi = 0.02$	64
4.45 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP2S3, $\xi = 0.02$	64
4.46 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP4S1, $\xi = 0.02$	65
4.47 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP4S2, $\xi = 0.02$	65
4.48 Promedio de los espectros normalizados por piso para TP4S3, $\xi = 0.02$	65

4.49	Promedio de los espectros normalizados por piso para TP10S1, $\xi = 0.02$	66
4.50	Promedio de los espectros normalizados por piso para TP10S2, $\xi = 0.02$	66
4.51	Promedio de los espectros normalizados por piso para TP10S3, $\xi = 0.02$	66
4.52	Promedio de los espectros normalizados por piso para TM2S1, $\xi = 0.02$	67
4.53	Promedio de los espectros normalizados por piso para TM2S2, $\xi = 0.02$	67
4.54	Promedio de los espectros normalizados por piso para TM2S3, $\xi = 0.02$	67
4.55	Promedio de los espectros normalizados por piso para TM4S1, $\xi = 0.02$	68
4.56	Promedio de los espectros normalizados por piso para TM4S1, $\xi = 0.02$	68
4.57	Promedio de los espectros normalizados por piso para TM4S1, $\xi = 0.02$	68
4.58	Promedio de los espectros normalizados por piso para TM12S1, $\xi = 0.02$	69
4.59	Promedio de los espectros normalizados por piso para TM12S1, $\xi = 0.02$	69
4.60	Promedio de los espectros normalizados por piso para TM12S1, $\xi = 0.02$	69

CAPÍTULO V

5.1	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP2S1.....	73
5.2	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP2S2.....	73
5.3	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP2S3.....	73
5.4	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP2S1.....	74
5.5	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP2S2.....	74
5.6	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP2S3.....	74
5.7	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP4S1.....	75
5.8	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP4S2.....	75
5.9	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP4S3.....	75
5.10	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP4S1.....	76
5.11	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP4S2.....	76
5.12	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP4S3.....	76
5.13	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP4S1.....	77
5.14	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP4S2.....	77
5.15	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP4S3.....	77
5.16	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP4S1.....	78
5.17	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP4S2.....	78
5.18	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP4S3.....	78
5.19	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP10S1.....	79
5.20	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP10S2.....	79
5.21	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP10S3.....	79
5.22	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP10S1.....	80
5.23	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP10S2.....	80
5.24	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP10S3.....	80
5.25	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP10S1.....	81
5.26	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP10S2.....	81
5.27	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP10S3.....	81
5.28	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP10S1.....	82
5.29	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP10S2.....	82
5.30	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP10S3.....	82
5.31	Espectros normalizados del piso 5 del modelo TP10S1.....	83

5.32	Espectros normalizados del piso 5 del modelo TP10S2.....	83
5.33	Espectros normalizados del piso 5 del modelo TP10S3.....	83
5.34	Espectros normalizados del piso 6 del modelo TP10S1.....	84
5.35	Espectros normalizados del piso 6 del modelo TP10S2.....	84
5.36	Espectros normalizados del piso 6 del modelo TP10S3.....	84
5.37	Espectros normalizados del piso 7 del modelo TP10S1.....	85
5.38	Espectros normalizados del piso 7 del modelo TP10S2.....	85
5.39	Espectros normalizados del piso 7 del modelo TP10S3.....	85
5.40	Espectros normalizados del piso 8 del modelo TP10S1.....	86
5.41	Espectros normalizados del piso 8 del modelo TP10S2.....	86
5.42	Espectros normalizados del piso 8 del modelo TP10S3.....	86
5.43	Espectros normalizados del piso 9 del modelo TP10S1.....	87
5.44	Espectros normalizados del piso 9 del modelo TP10S2.....	87
5.45	Espectros normalizados del piso 9 del modelo TP10S3.....	87
5.46	Espectros normalizados del piso 10 del modelo TP10S1.....	88
5.47	Espectros normalizados del piso 10 del modelo TP10S2.....	88
5.48	Espectros normalizados del piso 10 del modelo TP10S3.....	88
5.49	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TPM2S1.....	89
5.50	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TPM2S2.....	89
5.51	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TPM2S3.....	89
5.52	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TPM2S1.....	90
5.53	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TPM2S2.....	90
5.54	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TPM2S3.....	90
5.55	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TPM4S1.....	91
5.56	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TPM4S2.....	91
5.57	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TPM4S3.....	91
5.58	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TPM4S1.....	92
5.59	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TPM4S2.....	92
5.60	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TPM4S3.....	92
5.61	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TPM4S1.....	93
5.62	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TPM4S2.....	93
5.63	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TPM4S3.....	93
5.64	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TPM4S1.....	94
5.65	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TPM4S2.....	94
5.66	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TPM4S3.....	94
5.67	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TPM12S1.....	95
5.68	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TPM12S2.....	95
5.69	Espectros normalizados del piso 1 del modelo TPM12S3.....	95
5.70	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TPM12S1.....	96
5.71	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TPM12S2.....	96
5.72	Espectros normalizados del piso 2 del modelo TPM12S3.....	96
5.73	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TPM12S1.....	97
5.74	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TPM12S2.....	97
5.75	Espectros normalizados del piso 3 del modelo TPM12S3.....	97
5.76	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TPM12S1.....	98

5.77	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TPM12S2.....	98
5.78	Espectros normalizados del piso 4 del modelo TPM12S3.....	98
5.79	Espectros normalizados del piso 5 del modelo TPM12S1.....	99
5.80	Espectros normalizados del piso 5 del modelo TPM12S2.....	99
5.81	Espectros normalizados del piso 5 del modelo TPM12S3.....	99
5.82	Espectros normalizados del piso 6 del modelo TPM12S1.....	100
5.83	Espectros normalizados del piso 6 del modelo TPM12S2.....	100
5.84	Espectros normalizados del piso 6 del modelo TPM12S3.....	100
5.85	Espectros normalizados del piso 7 del modelo TPM12S1.....	101
5.86	Espectros normalizados del piso 7 del modelo TPM12S2.....	101
5.87	Espectros normalizados del piso 7 del modelo TPM12S3.....	101
5.88	Espectros normalizados del piso 8 del modelo TPM12S1.....	102
5.89	Espectros normalizados del piso 8 del modelo TPM12S2.....	102
5.90	Espectros normalizados del piso 8 del modelo TPM12S3.....	102
5.91	Espectros normalizados del piso 9 del modelo TPM12S1.....	103
5.92	Espectros normalizados del piso 9 del modelo TPM12S2.....	103
5.93	Espectros normalizados del piso 9 del modelo TPM12S3.....	103
5.94	Espectros normalizados del piso 10 del modelo TPM12S1.....	104
5.95	Espectros normalizados del piso 10 del modelo TPM12S2.....	104
5.96	Espectros normalizados del piso 10 del modelo TPM12S3.....	104
5.97	Espectros normalizados del piso 11 del modelo TPM12S1.....	105
5.98	Espectros normalizados del piso 11 del modelo TPM12S2.....	105
5.99	Espectros normalizados del piso 11 del modelo TPM12S3.....	105
5.100	Espectros normalizados del piso 12 del modelo TPM12S1.....	106
5.101	Espectros normalizados del piso 12 del modelo TPM12S2.....	106
5.102	Espectros normalizados del piso 12 del modelo TPM12S3.....	106

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
LISTA DE CUADROS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- Motivación.....	1
1.2.- Antecedentes.....	3
1.3.- Objetivos.....	5
1.4.- Metodología.....	6
1.5.- Contenido.....	7
II.- MARCO TEÓRICO.....	9
2.1.- Elementos No Estructurales.....	13
2.2.- Espectros.....	13
2.2.1.- Espectro de Respuesta.....	13
2.2.2.- Espectro de Aceleración Absoluta.....	13
2.2.3.- Espectro de Velocidad Relativa.....	14
2.2.4.- Espectro de Desplazamiento Relativo.....	14
2.2.5.- Aceleración Espectral.....	14

2.2.6.- Desplazamiento Espectral.....	14
2.2.7.- Velocidad Espectral.....	14
2.2.8.- Pseudovelocidad.....	14
2.2.9.- Pseudoaceleración.....	15
2.3.- Sistema Resistente a Sismo.....	15
2.4.- Tipos de Análisis Estructural.....	16
2.4.1.- Método de Análisis de Superposición Modal.....	16
2.4.2.- Numero de Modos.....	18
2.4.3.- Combinación de Modos.....	19
2.4.4.- Análisis Espectral.....	19
2.4.5.- Análisis Dinámico.....	19
2.4.6.- Análisis Dinámico Lineal con Acelerogramas Artificiales.....	21
2.5.- Acelerograma.....	21
2.6.- Acelerogramas Artificiales.....	21
2.7.- Diafragma.....	22
2.8.- Periodo Natural de Vibración.....	22
2.9.- Estructura de un grado de libertad dinámico.....	23
2.10.- Perfil Geotécnico.....	24
 III.- DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS, ESPECTROS ELÁSTICOS Y ACELEROGRAMAS ARTIFICIALES.....	 25
3.1.- Modelos Tipo Pórtico.....	25
3.2.- Modelos Tipo Muro.....	27

3.3.- Propiedades de Dinámicas de los Modelos.....	30
3.4.- Espectros Elásticos Tipificados.....	33
3.5.- Acelerogramas Artificiales.....	34
 IV.- RESULTADOS.....	 43
4.1.- Resultados Modelo TP4, $\xi = 0.05$	53
4.2.- Resultados Modelo TP2, $\xi = 0.05$	55
4.3.- Resultados Modelo TP10, $\xi = 0.05$	57
4.4.- Resultados Modelo TM2, $\xi = 0.05$	59
4.5.- Resultados Modelo TM4, $\xi = 0.05$	61
4.6.- Resultados Modelo TM12, $\xi = 0.05$	63
4.7.- Resultados Modelo TP2, $\xi = 0.02$	65
4.8.- Resultados Modelo TP4, $\xi = 0.02$	66
4.9.- Resultados Modelo TP10, $\xi = 0.02$	67
4.10.- Resultados Modelo TM2, $\xi = 0.02$	68
4.11.- Resultados Modelo TM4, $\xi = 0.02$	69
4.12.- Resultados Modelo TM12, $\xi = 0.02$	70
 V.- ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	 71
5.1.- Análisis de los Espectros Amplificados.....	71
5.2.- Comparación entre los Amortiguamientos.....	73
5.3.- Evaluación de las Amplitudes Máximas.....	108

5.4.- Comparación de las Amplitudes Máximas con el valor de C_p de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001).....	112
VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	113
6.1.- Conclusiones.....	113
6.2.- Recomendaciones.....	115
REFERENCIAS.....	116

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1.- Motivación

Toda estructura de concreto armado debe ser diseñada de manera que sea capaz de sufrir una experiencia sísmica y continuar operando después del evento. Los criterios de diseño estructural para diseño sísmico pretenden evitar el colapso, pero estos toman consideraciones muy limitadas hacia los elementos no estructurales de una construcción, siendo ellos los que sufren mayor daño y a su vez tienen grandes efectos sobre la seguridad de la vida humana, como por ejemplo lo observado en el terremoto de caracas del año 1967 con las paredes de mampostería que servían como cerramiento de una de las edificaciones afectadas (ver Fig. 1.1). Las principales razones por las cuales fallan los elementos no estructurales, son las excesivas fuerzas de inercia aplicadas a ellos o la deflexión provocada por la deformación del sistema estructural; estas fuerzas se pueden predecir si se conocen la respuesta de la estructura en el nivel de piso donde se instale dicho elemento, por otra parte el elemento debe ser capaz de deformarse sin fallar en concordancia con la deformación estructural.



(a)



(b)

Fig. 1.1 (a) Daños causados a una camioneta por un elemento no estructural
(b) Carro aplastado por pedazos de un elemento no estructural. Estos eventos ocurrieron durante el terremoto de caracas del año 1967.

En vista de las respuestas dinámicas de los elementos que no forman parte integrantes de la estructura, se estudia la posibilidad de uso de los espectros de respuesta de piso para el diseño y que de esta manera se consiga la respuesta de aceleración máxima, y con ello el factor de amplificación máximo de cada piso por separado.

A pesar de que la técnica para estimación de la respuesta máxima de aceleración por piso a través de estudios de análisis dinámico lineal con acelerogramas es una técnica universal, no existen estudios completos por lo menos en el caso venezolano, que evalúen las bondades y limitaciones de tal metodología. El procedimiento a seguir para la evaluación no es algo sencillo y requiere que se profundice en el significado de lo que es la respuesta de piso y lo que ella pueda implicar para cada una de las estructuras.

Como ya se indicó anteriormente el gran daño sufrido por elementos no estructurales ante sismos ocurridos, resulta ser el aspecto más importante para proponer un procedimiento que permita evaluar la respuesta de estos componentes ante la acción de sismos severos.

1.2.- Antecedentes

El comportamiento sísmico de los elementos no estructurales no ha sido adecuadamente estudiado, y las especificaciones efectivas de diseño casi no existen.

En vista de que el empleo de elementos no estructurales en edificios modernos, y que además la falla de estos puede destruir los sistemas de seguridad humana, como los que se relacionan con la resistencia al fuego y la evacuación, los señores Alfred Goldberg y Eduardo Rukos [Ref. 1], proponen el uso de los espectros de respuesta de piso como alternativa para evaluar el comportamiento de los elementos no estructurales.

La Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) “Edificaciones Sismorresistentes” [Ref. 2], fija ciertas condiciones y solicitaciones mínimas para el diseño y anclaje de los componentes que no forman parte integrante de la estructura, y ofrece como una alternativa el incorporar el uso de los espectros de piso.

Los profesores Bertero y Borzognia en su libro “*Earthquake Engineering. From engineering seismology to performance-Based Engineering*”, [Ref. 3] hacen una breve descripción de la utilización de una metodología para evaluar la respuesta de un elemento no estructural a través de la aplicación de los espectros de piso. Sencillamente se basan en un procedimiento en el cual hacen un análisis paso a paso en el tiempo donde determinan las historias de aceleraciones del punto o piso donde este ubicado el elemento no estructural a partir de la aplicación de acelerogramas reales o una familia de acelerogramas artificiales en la base, posteriormente con estas historias de aceleración de piso generan los espectros de respuesta de piso. En vista de que el análisis de historia de aceleraciones en el tiempo requiere grandes inversiones de tiempo para la realización de integraciones numéricas, estos autores

suman la alternativa del uso de métodos que ya están disponibles para la determinación de los espectros de piso a partir del espectro de respuesta de la base incluyendo las propiedades dinámicas de la estructura.

1.3.- Objetivos

1.3.1.- Objetivo General

Determinación de los espectros de aceleración de piso elásticos en estructuras de concreto armado Tipo I y Tipo III, a partir de los espectros de respuesta elástica propuestos en la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001).

1.3.2.- Objetivos Específicos

- 1.- Desarrollar modelos de estructuras de concreto armado en el plano.
- 2.- Realizar análisis dinámicos lineales con el uso de acelerogramas artificiales para las formas espectrales S1, S2 y S3.
- 3.- Determinar las historias de aceleraciones de piso para cada modelo.
- 4.- Derivar los espectros elásticos de piso para amortiguamientos de 0.02 y 0.05.
- 5.- Normalizar cada uno de los espectros.
- 6.- Comparar los valores máximos de amplificación de piso con el valor C_p de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001).

1.4.- Metodología

En la práctica del diseño de estructuras de concreto armado, los ingenieros estructurales deben tomar en cuenta una serie de acciones conformes a las exigencias de las normas COVENIN 1756-98 (Rev. 2001), donde se establecen los requisitos mínimos que se deben aplicar teniendo en consideración la economía en el diseño sin poner en riesgo la seguridad humana.

Aun cuando se considera que los efectos de los elementos no estructurales son secundarios en relación con el comportamiento de un sistema estructural, se han observado daños importantes en estos elementos luego de un sismo. Una de las formas de conocer el posible comportamiento de estas antes un sismo es a través de los llamados espectros de respuesta de piso.

Con la finalidad de conocer la respuesta de la máxima aceleración y el máximo factor de amplificación de cada uno de los pisos de distintas estructura a partir de la aplicación de acelerogramas artificiales en la base de la estructura, se presenta a continuación la metodología que se siguió en este trabajo.

1. Se desarrollaron modelos de edificaciones de concreto armado en el plano para las estructuras Tipo I y Tipo III.
2. Se generaron 5 acelerogramas artificiales para las formas espectrales S1, S2, S3 a partir de los espectros de respuesta elástica establecidos en la norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001).

3. A cada uno de los modelos se le realizaron análisis dinámico lineal con acelerogramas artificiales para determinar las historias de aceleraciones absolutas en el tiempo de cada uno de los pisos de las estructuras.
4. Obtenidas estas historias de aceleraciones de piso se derivaron los espectros de respuesta de pisos para amortiguamientos de 0.02 y 0.05.
5. Derivados los espectros de piso se busca la máxima aceleración de piso y cada uno de los espectros se dividen entre su máxima aceleración para obtener los espectros de amplificación de piso.
6. Posteriormente se promedian y comparan los espectros de amplificación de piso con un amortiguamiento de 0.05 respecto al crítico, contra los espectros de respuesta elástica tipificados planteados en las normas COVENIN 1756-98 (Rev. 2001).
7. Se comparan los espectros de amplificación de piso por factor de amortiguamiento y para cada uno de los pisos.
8. Se toman los máximos valores de amplificación de piso de todos los modelos para cada una de las formas espectrales.
9. Se Comparan los valores máximos de amplificación de piso con el valor C_p de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001).

1.5.- Contenido

El presente trabajo se divide en cinco capítulos, que se describen a continuación:

Capítulo 2 **MARCO TEORICO**, en este capítulo se desarrollan las definiciones fundamentales para poder entender y llevar a cabo esta investigación.

Capítulo 3 **DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS, ESPECTROS ELÁSTICOS Y ACELEROGRAMAS ARTIFICIALES**, en este capítulo se describen cada uno de los modelos utilizados, las propiedades dinámicas de las estructuras, los espectros de respuesta elástica y movimientos sísmicos que se generaron para realizar los análisis dinámico lineal, como también otras consideraciones utilizados para estudiar los modelos.

Capítulo 4 **RESULTADOS**, se presentan los resultados de los espectros de amplificación de piso de los diferentes modelos, para cada forma espectral y para amortiguamientos de 0.05 y 0.02.

Capítulo 5 **ANÁLISIS DE RESULTADOS**, se discuten los resultados obtenidos en el capítulo anterior y se presentan los espectros de comparación para los distintos amortiguamientos para cada piso. Se muestran las tablas con los valores máximos de amplificación de piso y sus respectivos análisis.

Capítulo 6 **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**, finalmente en este capítulo se presentan y discuten las principales consideraciones y recomendaciones de este Trabajo Especial de Grado.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Ante la ocurrencia de un sismo se debe de tomar en cuenta numerosas acciones de seguridad con el objetivo de proteger vidas y aminorar los daños esperados en las edificaciones, además ir más a fondo y conocer la respuesta que tienen los elementos no estructurales en las construcciones. En base a esto y para tener una visión más clara en cuanto a las respuestas dinámicas de una estructura se hace uso de los espectros de respuesta elásticos y de las formas espectrales tipificadas de los terrenos de fundación de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001). Para el uso de los espectros de respuesta elástica se deben de tener en cuenta ciertos puntos importantes relacionados con el comportamiento dinámico de los suelos y sus aplicaciones.

Dependiendo de las características del perfil geotécnico del terreno de fundación la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) “Edificaciones Sismorresistentes”, considera cuatro formas espectrales tipificadas (S1, S2, S3 y S4) y un factor de corrección para el coeficiente de aceleración horizontal (ϕ).

En aquellos casos donde el suelo pierde la resistencia al corte durante la carga cíclica ocurre una degradación súbita de la rigidez. Por lo cual, la respuesta difiere sensiblemente de las tipificadas de la Norma, debido a que principalmente se limita la propagación de las ondas hacia la superficie y aumentan los periodos del perfil [Ref. 2]. En la figura 2.1 se presentan los espectros tipificados para cada una de las formas espectrales.

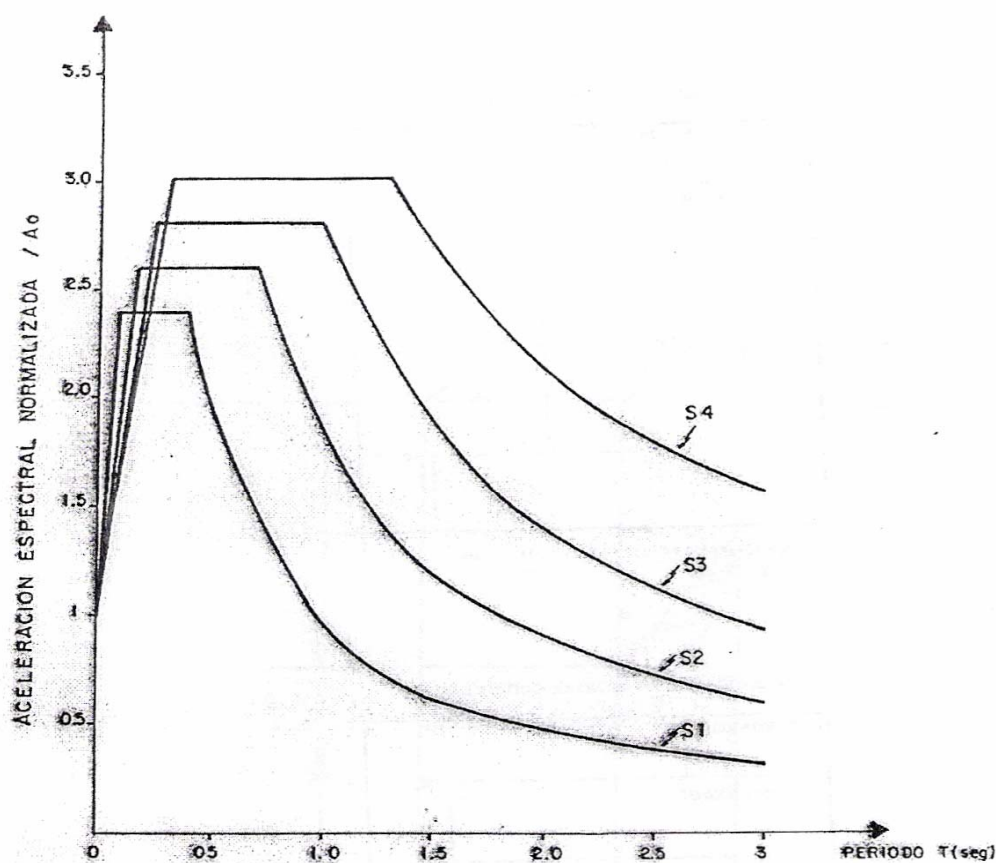


Fig. 2.1 Espectros de Respuesta Elástica Tipificados.

También la norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) [Ref. 2] en su capítulo 7 en la tabla 7.3 establece ciertos valores de coeficientes sísmico (C_p), que se deben tomar en cuenta para la estimación de las fuerzas en los componentes que no forman parte integrante de la estructura. “Estos componentes deberán diseñarse para resistir las fuerzas sísmicas horizontales (F_p) en la dirección más desfavorable”, estas fuerzas se calculan de acuerdo con la fórmula:

$$F_p = (F_i/w_i)C_pW_p \quad (2.1)$$

donde:

(F_i/W_i) = Coeficiente entre la fuerza lateral en el nivel i donde se encuentra ubicado el componente o parte estructural y el peso de ese mismo nivel. Este cociente no será menor que $\alpha\phi A_o$.

A_o = Coeficiente de aceleración horizontal

C_p = Coeficiente sísmico de elementos o partes de estructuras.

W_p = Peso del componente o elemento considerado.

W_i = Peso del nivel i de la edificación.

α = Factor de importancia.

ϕ = Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal.

COMPONENTES, APÉNDICES E INSTALACIONES	C_p
Subestructuras en voladizo; salas de máquina; estanques con su contenido	6/R
Paredes:	
- Enmarcadas (confinadas)	1.0
- No enmarcadas (no confinadas)	1.5
- En voladizo	4.0
Paneles de vidrio	2.0
Equipos mecánicos o eléctricos	2.0
Sistemas contra incendio y/o de restitución de energía eléctrica	3.0
Conexiones de: componentes prefabricados; paneles de vidrio; otros componentes frágiles	4.0
Antepechos; parapetos verticales; ornamentos; vallas publicitarias; chimeneas	4.0

Tabla 2.1. Valores de C_p para componente, apéndices e instalaciones.

Como método alternativo, la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) en el comentario C-7.3.1 permite el uso del análisis dinámico incorporando los elementos no estructurales al modelo matemático de la estructura o el uso de espectros de piso.

De tal forma, para lograr el objetivo de este trabajo y siguiendo las consideraciones de la norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001), se hace el estudio de

los espectros de piso, para evaluar la respuesta dinámica de los componentes que no forman parte integrante de la estructura o estructuras menores ligadas a ellas.

A continuación se harán las siguientes definiciones para una mayor comprensión del tema.

2.1.- Elementos no Estructurales

Bajo esta denominación se incluyen a todos los contenidos y partes de una edificación con excepción de los elementos estructurales, estos elementos pueden ser los arquitectónicos o mecánicos como: ventanas, paredes, cielos rasos, equipos de oficina, sistemas de bandas transportadoras, escaleras, chimeneas, ductos eléctricos, tanques, etc.

2.2.- Espectros

2.2.1- Espectros de Respuesta

“Representa la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad y de un mismo coeficiente de amortiguamiento, sometidos a una historia de aceleraciones dada, expresada en función del período” [Ref. 1].

2.2.2.- Espectros de Aceleración Absoluta

Describe la máxima respuesta dinámica en términos de aceleración absoluta para cualquier edificio descrito por su periodo T y amortiguamiento ζ .

2.2.3.- Espectro de Velocidad Relativa

Describe la máxima respuesta dinámica en términos de velocidad relativa para cualquier edificio descrito por su periodo T y amortiguamiento ζ .

2.2.4.- Espectro de desplazamiento Relativo

Describe la máxima respuesta dinámica en términos de desplazamientos relativos para cualquier edificio descrito por su periodo T y amortiguamiento ζ .

2.2.5.- Aceleración Espectral

“Valor máximo de la aceleración absoluta producido por un temblor en un oscilador simple” [Ref. 4].

2.2.6.- Desplazamiento Espectral

“Valor máximo de desplazamiento relativo producido por un temblor en un oscilador simple” [Ref. 4].

2.2.7.- Velocidad Espectral

“Valor máximo de pseudos velocidad que produce un temblor en un oscilador simple” [Ref. 4].

2.2.8.- Pseudo velocidad

“Velocidad máxima calculada por analogía con el movimiento armónico aparente de un sistema sometido a excitación sísmica” [Ref. 4].

2.2.9.- Pseudoaceleración

Es el valor del espectro de respuesta para desplazamientos, multiplicado por el cuadrado de la frecuencia del sistema. Su valor numérico para excitaciones sísmicas es aproximadamente igual a la aceleración máxima lo que da origen a su nombre.

2.3.- Sistema Resistente a sismos

“Parte del sistema estructural que se considera suministra a la edificación la resistencia, rigidez y ductilidad necesarias para soportar las acciones sísmicas” [Ref. 2].

En la norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001), se establecen los tipos de sistemas estructurales en función de los componentes del sistema resistente a sismos. En nuestra investigación trabajaremos con estructuras:

Tipo I: “Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante sus vigas y columnas, tales como los sistemas estructurales constituidos por pórticos” [Ref. 2].

Tipo III: “Estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante pórticos diagonalizados o muros estructurales de concreto armado o de sección mixta acero-concreto, que soportan la totalidad de las cargas permanentes y variables. Los últimos son los sistemas comúnmente llamados de muro. Se consideran igualmente dentro de este grupo las combinaciones de los Tipos I y III, cuyos

pórticos no sean capaces de resistir el 25% de las fuerzas sísmicas totales, respetando en su diseño, el nivel de diseño adoptado para toda la estructura” [Ref. 2].

2.4.- Tipos de Análisis Estructural

2.4.1- Método de Análisis de Superposición Modal

Este análisis es una representación apropiada del movimiento del suelo y se realiza utilizando los principios de la dinámica. El análisis modal es el adecuado para calcular la respuesta de estructuras de varios grados de libertad ante movimientos sísmicos. La respuesta estructural es modelada como la máxima respuesta de un número de osciladores de un simple grado de libertad, cada uno representando un modo de vibración de la estructura real. Combinando la respuesta de los modos individuales se obtienen las fuerzas externas equivalentes, el cortante basal y el cortante de piso, que pueden usarse de la misma forma como en el procedimiento de fuerza lateral estática. El procedimiento de análisis modal determina la distribución real de las fuerzas laterales, de las masas y una distribución de rigideces a lo largo de la altura de una estructura irregular, que puede diferir apreciablemente de la distribución lineal simplificada asumida en el método de la fuerza lateral estática. Además, considera los efectos de los modos más altos de la respuesta de una estructura, alguno de los cuales puede contribuir significativamente en la respuesta global de la estructura.

Este análisis se basa en escoger un espectro de respuesta sísmica, aplicando una técnica de análisis dinámico para un modelo matemático de la estructura, combinando la respuesta de un número suficiente de modos para asegurar de que por lo menos el 90% de la masa participativa de la estructura esté incluido en el cálculo de respuesta para cada dirección horizontal principal.

Las ordenadas de aceleración del espectro de respuesta se deben multiplicar por la aceleración de la gravedad, además, el espectro debe desarrollarse para una relación de amortiguamiento de 5%, a menos que se demuestre que un valor diferente sea consistente con el comportamiento estructural anticipado a la intensidad de vibración establecida para el sitio.

Es necesario cierta cantidad conveniente de modos para asegurar que el 90% de la masa participativa de la estructura esté incluida en el cálculo. De este modo el peso total de la estructura está dado por:

$$W = \sum w_i \quad (2.2)$$

y el peso efectivo para un modo dado esta definido por:

$$W^E = \frac{(\sum w_i \cdot \phi_i)^2}{\sum w_i \cdot \phi_i^2} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} W^E &= \delta \cdot \sum w_i \cdot \phi_i \\ W^E &= \delta^2 \cdot \sum w_i \cdot \phi_i^2 \\ W^E &= g \cdot V / S_a \end{aligned} \quad (2.4)$$

donde:

$$\delta = \text{Factor de participación para un modo dado} = (\Sigma w_i \cdot \phi_i) / \Sigma w_i \cdot \phi_i^2$$

Para una forma modal normalizada, el factor de participación se reduce a:

$$\delta = \frac{\Sigma w_i \cdot \phi_i}{g} \quad (2.5)$$

Por tanto la ecuación 2.3 se reduce a:

$$W^E = \frac{(\Sigma w_i \cdot \phi_i)^2}{g} \quad (2.6)$$

La relación entre el peso efectivo y el peso total de la estructura está dado por:

$$\Sigma W^E = W \quad (2.7)$$

donde:

ΣW^E = es la suma de los pesos efectivos para todos los modos.

Por consiguiente, debe definirse un número suficiente de modos para asegurar que la suma de sus pesos efectivos sea:

$$\Sigma W^E \geq 0.9 \cdot W \quad (2.8)$$

2.4.2.- Número de modos

Se debe incluir todos los modos importantes, demostrando que en los modos considerados, por lo menos el 90% de la masa participativa de la estructura esté

incluida en el cálculo de respuesta para cada dirección horizontal principal. Estos modos se obtienen usando métodos de dinámica estructural, tales como: el Análisis de autovectores o el Análisis de los Vectores de Ritz.

2.4.3.- Combinación de Modos

Las fuerzas máximas del elemento, desplazamientos, fuerzas cortantes por piso y reacciones de base para cada modo, deben combinarse mediante métodos reconocidos, tales como: El método CQC, Combinación Cuadrática Completa. El método GMC, Combinación Modal General. El método SRSS, Raíz Cuadrada de la Suma de los Cuadrados. El método de la suma de valores absolutos, ABS. Las contribuciones modales máximas se combinan de manera estadística para obtener una respuesta estructural total aproximada.

2.4.4.- Análisis Espectral

Análisis dinámico elástico de una estructura donde se toma la respuesta dinámica máxima de todos los modos que tienen una contribución importante a la respuesta estructural total. Las respuestas modales máximas se calculan tomando las ordenadas de la curva de espectro de respuesta apropiada que corresponda a los periodos modales.

2.4.5.- Análisis Dinámico

Sólo algunas de las estructuras de la vida real se pueden idealizar mediante sistemas de un único grado de libertad, lo que implica que la mayoría de las

estructuras no se puedan modelar de esa forma y por lo cual se hace indispensable definir estructuras con más de un grado de libertad.

Para definir estructuras con varios grados de libertad se debe determinar la ecuación de movimiento de dicho sistema:

$$M \ddot{u}(t) + C \dot{u}(t) + K u(t) = P(t) - M b \ddot{u}_g(t) \quad (2.9)$$

donde:

$M \ddot{u}(t)$ = Matriz de masa.

$C \dot{u}(t)$ = Matriz de amortiguamiento.

$K u(t)$ = Matriz de rigidez.

Para el caso de interés, dada dicha ecuación y conociendo el movimiento sísmico por su acelerograma y las características estructurales del modelo en cuestión, se obtienen las propiedades dinámicas de la estructura y las solicitaciones a las cuales se encuentran sometidas. Esta solución se obtiene modificando la ecuación (2.9) de esta forma:

$$M \ddot{u}(t) + C \dot{u}(t) + K u(t) = -M b \ddot{u}_g(t) \quad (2.10)$$

Para la obtención de las propiedades dinámicas se resuelve el siguiente sistema:

$$\det(K - \lambda i M) \phi_i = 0 \quad (2.11)$$

Para la solución se utilizará un programa de análisis lineal y se tomarán en cuenta los criterios siguientes:

- Se tomará en cuenta un sólo grado de libertad por nivel, puesto que los modelos estudiados se encuentran en el plano.
- La masa de cada nivel se encuentra en su centro de masa.

2.4.6.- Análisis Dinámico lineal con Acelerogramas Artificiales

Los acelerogramas utilizados se adecuaron a los espectros de respuesta elástica del artículo 7.2 de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) adaptados para $R=1$ y un coeficiente de amortiguamiento del 5%. La especificación de la norma es de usar 5 acelerogramas y obtenerse la respuesta de diseño como el promedio de los resultados. Como medida de control conviene comparar los resultados obtenidos con los espectros normalizados. Este método resulta útil para analizar estructuras con dispositivos de aislamiento sísmico o con amortiguadores donde los procedimientos de espectros de respuestas requieren modificaciones.

2.5.- Acelerograma

“Registro de la variación temporal de la aceleración en un sitio dado y en una dirección” [Ref. 2].

2.6.- Acelerogramas Artificiales

“Son ondas sísmicas artificiales se construyen estadísticamente a partir del contenido de la frecuencia, variación de la amplitud y duración del temblor. Son convenientes puesto que se pueden obtener espectros de respuesta relativamente continuos que concuerdan con los espectros del diseño uniforme” [Ref. 5].

Los acelerogramas artificiales que se utilizarán en este trabajo se generaron con el programa SIMQKE [Ref. 6]

2.7.- Diafragma

“Parte de la estructura, generalmente horizontal, con suficiente rigidez en su plano, diseñada para transmitir la fuerza a los elementos verticales del sistema resistente sísmico” [Ref. 1]. En este trabajo cada piso de las diferentes estructuras posee un diafragma rígido particular.

2.8.- Amortiguamiento

Es una fuerza proporcional a la velocidad, llamada fuerza de amortiguamiento viscoso (FD), siendo ella el producto del coeficiente de amortiguamiento (c) por la velocidad. La ecuación viene expresada como:

$$F = c * v = c * x' \quad (2.12)$$

2.9.- Estructura de un Grado de Libertad Dinámico

Estructuras modeladas como sistemas con una sola coordenada de desplazamiento, es decir sometida a una fuerza traslacional. Estos sistemas con un solo grado de libertad pueden ser representados por el modelo matemático de la figura 2.3, que tienen los siguientes elementos: (1) un elemento de masa, m , que representa la masa o propiedad de inercia de la estructura, (2) un elemento resorte, k , que representa las fuerzas internas del sistema y la capacidad de la estructura de almacenar la energía potencial, (3) un elemento amortiguación, c , que representa las características friccionales y las pérdidas de energías de la estructura y (4) la fuerza de excitación $F(t)$, que a su vez representan las fuerzas exteriores que actúan sobre el sistema estructural. La fuerza $F(t)$ se escribe en esta forma para indicar que es una función del tiempo.[Ref. 4]

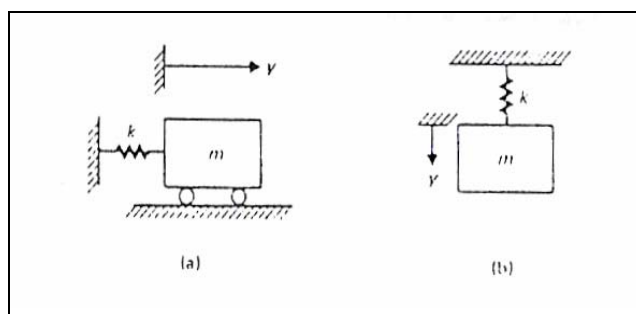


Fig. 2.2 Representación de modelos matemáticos para sistemas de un grado de libertad.

2.10.- Perfil geotécnico

Es la representación bidimensional de las condiciones geotécnicas de un determinado lugar donde se incluyen la estratigrafía y la geometría de los depósitos de un suelo, además de los parámetros mínimos requeridos para su caracterización.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS, ESPECTROS ELÁSTICOS Y ACELEROGRAMAS ARTIFICIALES

Para la realización de este Trabajo Especial de Grado se estudiaron varios modelos de estructuras de concreto armado en el plano, donde la diferencia más resaltante entre los modelos es el sistema resistente a sismos adoptado.

3.1.- Modelos Tipo Pórtico

Estos modelos están constituidos por cuatro vanos con columnas de dimensiones de 35x35 cm y las vigas de 35x60 cm, clasificándose según la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) [Ref. 2] como una estructura Tipo I, donde su sistema resistente a sismo está constituido por vigas y columnas. En las figuras 3.1 a 3.3 se presentan las características de los modelos tipo pórtico de 2, 4 y 10 pisos respectivamente, en donde se puede apreciar la distancia horizontal entre columnas y la altura de los niveles.

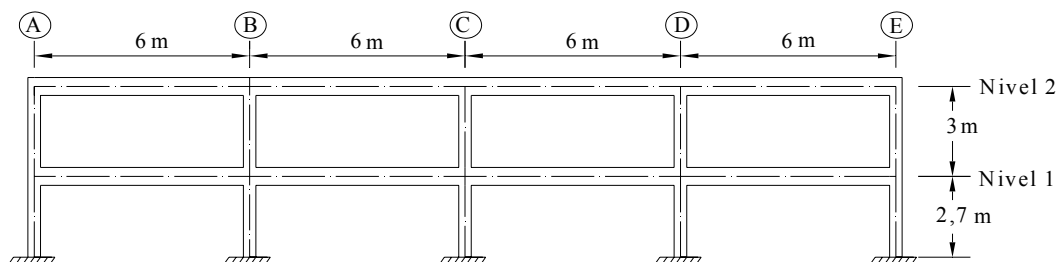


Figura 3.1. Representación Gráfica del Modelo Tipo Pórtico de 2 pisos

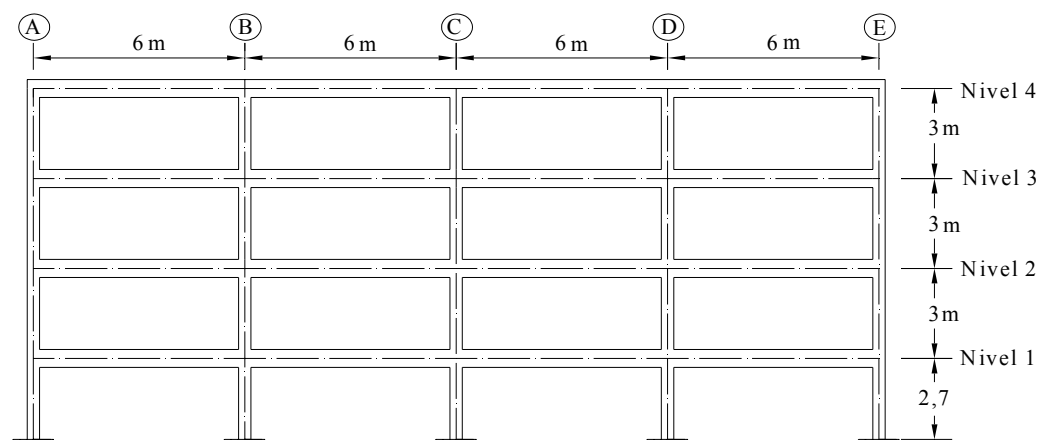


Figura 3.2. Representación Gráfica del Modelo Tipo Pórtico de 4 pisos.

Características comunes entre los modelos tipo pórtico de 2 y 4 pisos:

- Carga gravitatoria del nivel techo: 3474.38 kgf/m.
- Masa traslacional horizontal en el nivel techo: 8500 kgf-s²/m.
- Carga gravitatoria de los niveles restantes: 3678.75 kgf/m.
- Masa traslacional horizontal en los niveles restantes: 9000 kgf-s²/m.

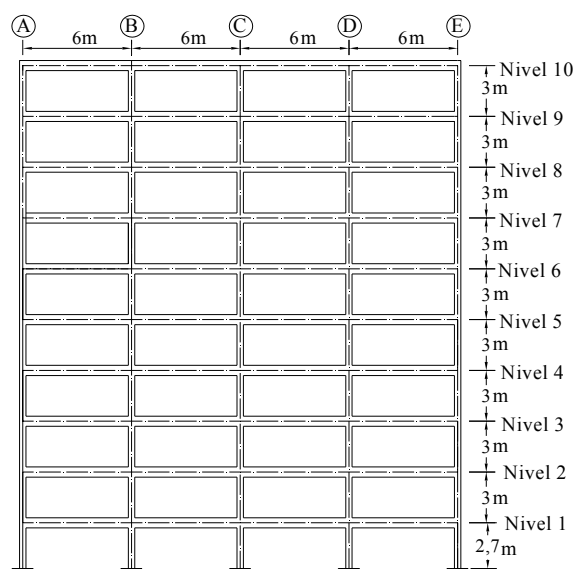


Figura 3.3. Representación Gráfica del Modelo Tipo Pórtico de 10 pisos.

Características del modelo tipo pórtico de 10 pisos:

- Carga gravitatoria del nivel techo: 1962 kgf/m.
- Masa traslacional horizontal en el nivel techo: 3000 kgf-s²/m.
- Carga gravitatoria de los niveles restantes: 2093 kgf/m.
- Masa traslacional horizontal en los niveles restantes: 3200 kgf-s²/m.

3.2.- Modelos Tipo Muro

Modelo apantallado conformado por dos vanos, donde una de sus líneas resistentes es un muro de sección de 20x300 cm, los otros dos ejes son columnas de 35x70 cm y todas las vigas de 35x60 cm. Con esta configuración se puede clasificar

la estructura como Tipo III según la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) [Ref. 2]. En las Figuras 3.4 a 3.6 se presentan las características de los modelos tipo muro de 2, 4 y 12 pisos respectivamente, con sus detalles.

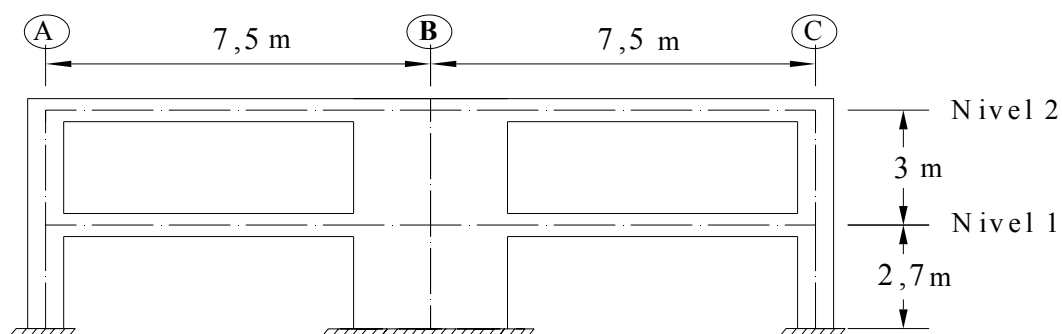


Figura 3.4. Representación Gráfica del Modelo Tipo Muro de 2 pisos.

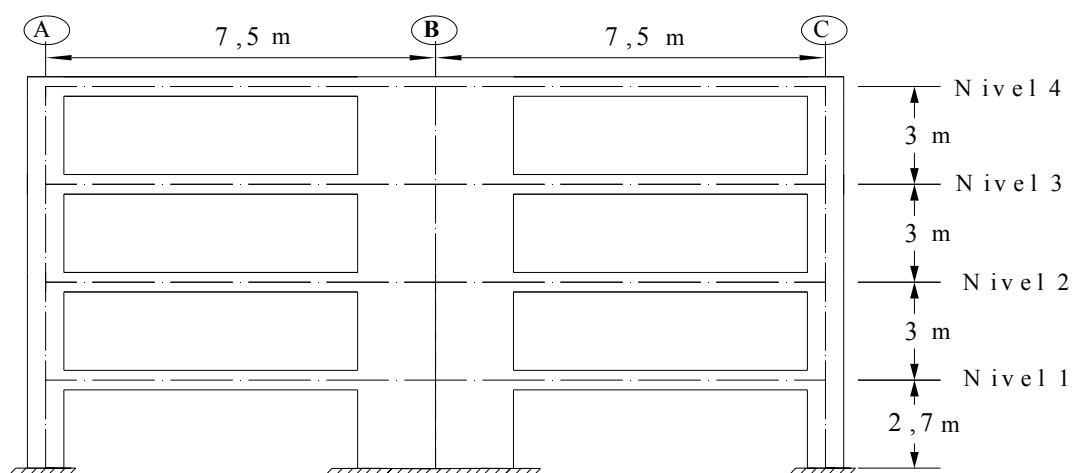


Figura 3.5. Representación Gráfica del Modelo Tipo Muro de 4 pisos.

Características comunes entre los modelos tipo muro de 2 y 4 pisos:

- Carga gravitatoria del nivel techo: 3474.38 kgf/m.
- Masa traslacional horizontal en el nivel techo: 8500 kgf-s²/m.
- Carga gravitatoria de los niveles restantes: 3678.75 kgf/m.
- Masa traslacional horizontal en los niveles restantes: 9000 kgf-s²/m.

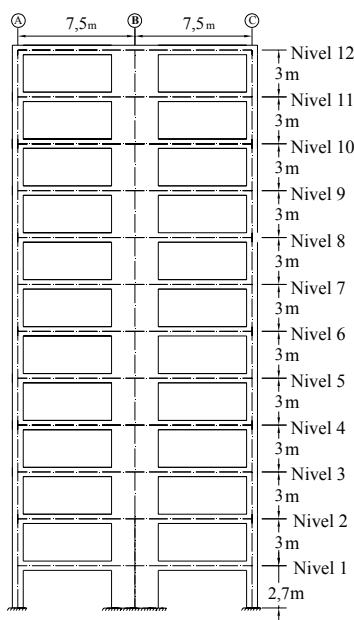


Figura 3.6. Representación Gráfica del Modelo Tipo Muro de 12 pisos.

Características del modelo tipo muro de 12 pisos:

- Carga gravitatoria del nivel techo: 3474.38 kgf/m.
- Masa traslacional horizontal en el nivel techo: 8500 kgf-s²/m.
- Carga gravitatoria de los niveles restantes: 3678.75 kgf/m.
- Masa traslacional horizontal en los niveles restantes: 9000 kgf-s²/m.

A continuación se presentan las características comunes entre todos los modelos:

- Un solo grado de libertad traslacional por nivel.
- Se consideraron brazos rígidos en las conexiones de columnas y vigas.
- Resistencia de diseño a la compresión del concreto $f'_c = 250 \text{ kgf/cm}^2$.
- Resistencia a la cedencia del acero $f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$.
- Modulo de Elasticidad del concreto $E_c = 238752 \text{ kgf/cm}^2$.
- Modulo de elasticidad del acero $E_s = 2 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$.

Para facilitar la presentación de resultados se estableció una nomenclatura para cada uno de los modelos que se describe como sigue: los dos primeros números corresponden al tipo de estructura, se indica con las letras TP si es uno de los modelos tipo pórtico o TM para los modelos tipo muro, posteriormente se indica el número de pisos de la estructura y por último las diferentes formas espectrales (S1, S2 o S3). Por ejemplo se tiene el siguiente caso TM4S2 correspondiente al modelo tipo muro de 4 pisos para la forma espectral S2.

3.3.- Propiedades Dinámicas de los Modelos.

En las tablas que se presentan a continuación se muestran las principales propiedades dinámicas de los diferentes modelos estudiados, éstas son el resultado de un análisis preliminar realizado a cada uno de los modelos.

Modo	Periodo (s)	Frecuencia	Masa Participativa (%)	
			Por Modo	Acumulada
1	0.325501	19.303	91.90	91.90
2	0.112467	55.867	8.10	100.00

Tabla 3.1. Propiedades dinámicas del TP2.

Modo	Periodo (s)	Frecuencia	Masa Participativa (%)	
			Por Modo	Acumulada
1	0.622221	10.098	86.40	86.40
2	0.205602	30.560	9.80	96.10
3	0.123620	50.827	3.10	99.20
4	0.093547	67.166	0.79	100.00

Tabla 3.2. Propiedades dinámicas del TP4.

Modo	Periodo (s)	Frecuencia	Masa Participativa (%)	
			Por Modo	Acumulada
1	0.918387	6.8415	82.40	82.40
2	0.304071	20.664	10.00	92.40
3	0.178656	35.169	3.40	95.80
4	0.126488	49.674	1.70	97.60
5	0.097650	64.344	1.00	98.60
6	0.079733	78.803	0.64	99.20
7	0.067858	92.594	0.41	99.60
8	0.059887	104.82	0.24	99.90
9	0.054721	114.82	0.11	100.00
10	0.051803	121.29	0.03	100.00

Tabla 3.3. Propiedades dinámicas del TP10.

En los modelos tipo pórtico se presentó un primer modo de vibración de 0.33 seg. para el TP2, 0.62 seg. para TP4 y 0.92 seg. para TP10, con una masa participativa de más del 91%, 86% y 82% del total, respectivamente.

Modo	Periodo (s)	Frecuencia	Masa Participativa (%)	
			Por Modo	Acumulada
1	0.125565	50.039	83.30	83.30
2	0.031467	199.680	16.70	100.00

Tabla 3.4. Propiedades dinámicas del TM2.

Modo	Periodo (s)	Frecuencia	Masa Participativa (%)	
			Por Modo	Acumulada
1	0.309860	20.277	74.90	74.90
2	0.074978	83.800	18.20	93.10
3	0.034784	180.630	5.60	98.70
4	0.023628	265.920	1.30	100.00

Tabla 3.5. Propiedades dinámicas del TM4.

Modo	Periodo (s)	Frecuencia	Masa Participativa (%)	
			Por Modo	Acumulada
1	0.747314	8.408	73.40	73.40
2	0.212059	29.629	13.10	86.60
3	0.101381	61.976	5.30	91.90
4	0.060038	104.650	3.00	94.90
5	0.040161	156.450	1.90	96.80
6	0.029356	214.040	1.20	98.00
7	0.022923	274.100	0.81	98.80
8	0.018861	333.140	0.53	99.40
9	0.016199	387.880	0.33	99.70
10	0.014439	435.160	0.19	99.90
11	0.013313	471.960	0.09	100.00
12	0.012681	495.480	0.02	100.00

Tabla 3.6. Propiedades dinámicas del TM12.

En los modelos tipo muro se observó un primer modo de vibración de 0.13 seg. para el TM2, 0.31 seg. para TM4 y 0.75 seg. para TM12, con una masa participativa de más del 83%, 74% y 73% del total, respectivamente.

3.4.- Espectros Elásticos Tipificados

Se construyeron los espectros de respuesta elásticos para diferentes condiciones de suelo, según lo dispone la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001). A continuación se mencionan los parámetros utilizados:

- Se consideraron tres formas espectrales S1, S2 y S3.
- Se consideró $R = 1$.

- Se fijó el factor de corrección φ en 1.00.
- Se clasificaron los modelos según su uso como grupo B2, es decir $\alpha = 1.00$.
- Se fijó la máxima aceleración horizontal del terreno en $A_0 = 0.30$.

En la figura 3.7 se representa el espectro de aceleración para cada forma espectral. Estos espectros serán utilizados más adelante como semilla para obtener una familia de acelerogramas artificiales.

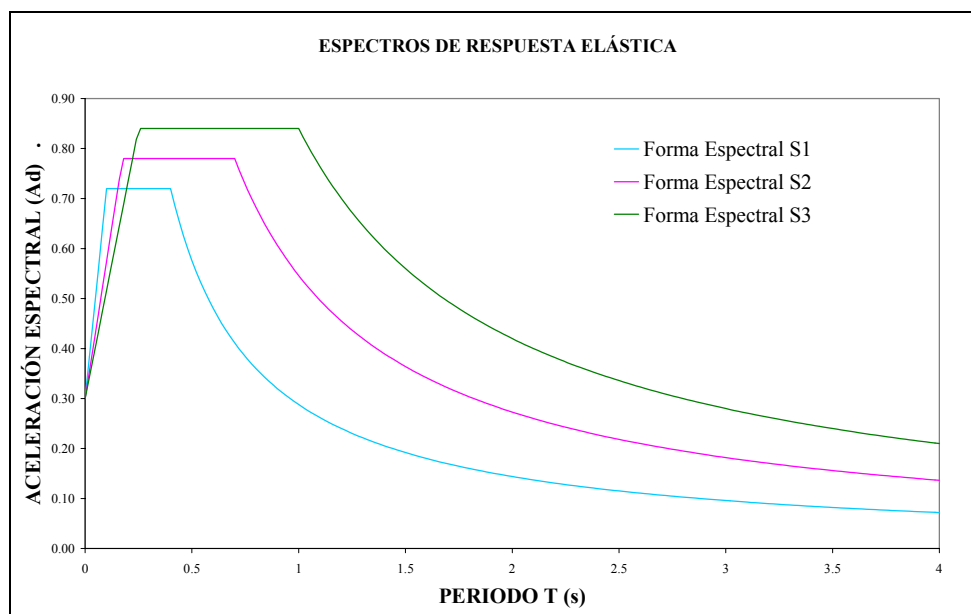


Figura 3.7. Espectro de Aceleración para S1, S2 y S3

3.5.- Acelerogramas Artificiales

Para cada forma espectral se generaron cinco acelerogramas artificiales con un amortiguamiento de 0.05 respecto al crítico y un coeficiente de aceleración

horizontal de 0.30g. Por lo tanto, a cada modelo presentado en el punto 3.2 y 3.3 se le practicarán 15 análisis dinámicos lineales.

La técnica empleada para la generación de acelerogramas artificiales correspondió a la presentada por Vanmarcke y Gasparini [Ref. 6], en donde los movimientos sísmicos se tratan de hacer lo más consistentes con un espectro de respuesta de velocidades previamente considerado y derivado de los indicados en la figura 3.7.

Para el desarrollo de los acelerogramas se hizo uso de dos parámetros importantes exigidos por Vanmarcke [Ref. 6], como son la dimensión del tiempo de elevación (TRISE) y el intervalo donde se generan las amplitudes más altas (TLVL). Para el acelerograma número uno se usaron los siguientes valores $TRISE = 2$ s y $TLVL = 10$ s, para el número dos 4 s y 8 s, para el número tres 6 s y 6 s, para el número cuatro 5 s y 7 s, y para el número cinco 3 s y 9 s, respectivamente.

En las figuras 3.8 a 3.22 se presentan los acelerogramas artificiales con una duración de 20 s y un intervalo de digitalización de 0.02.

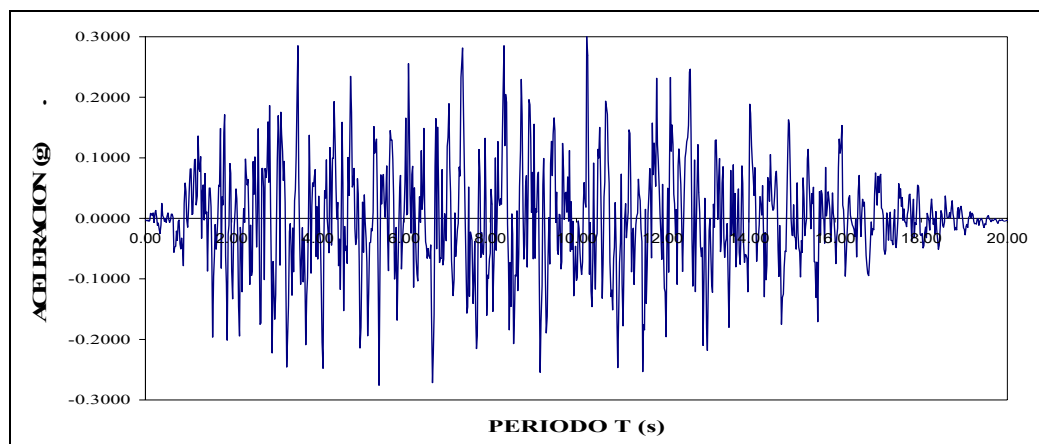


Figura 3.8 Acelerograma Artificial #1 para S1.

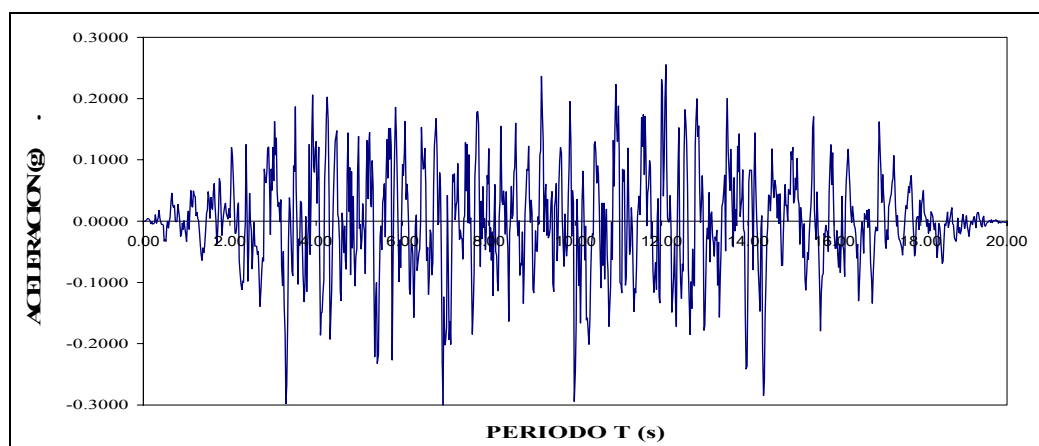


Figura 3.9 Acelerograma Artificial #2 para S1

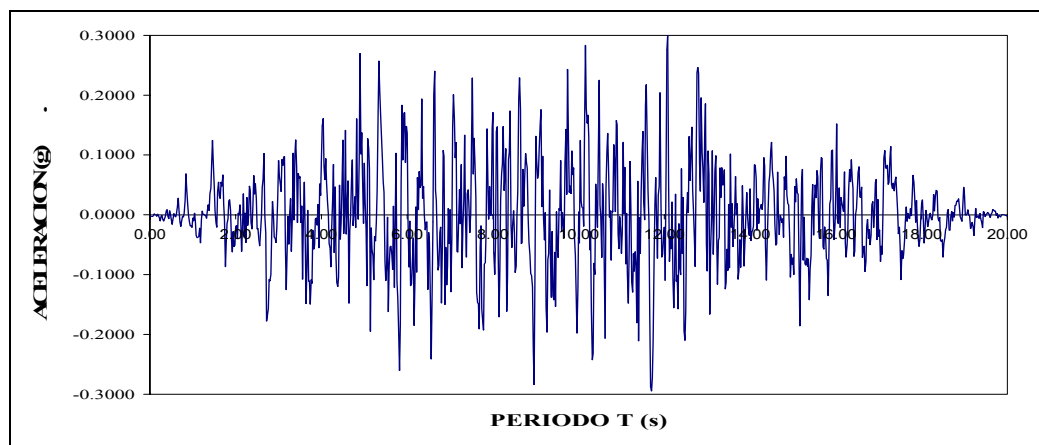


Figura 3.10. Acelerograma Artificial #3 para S1

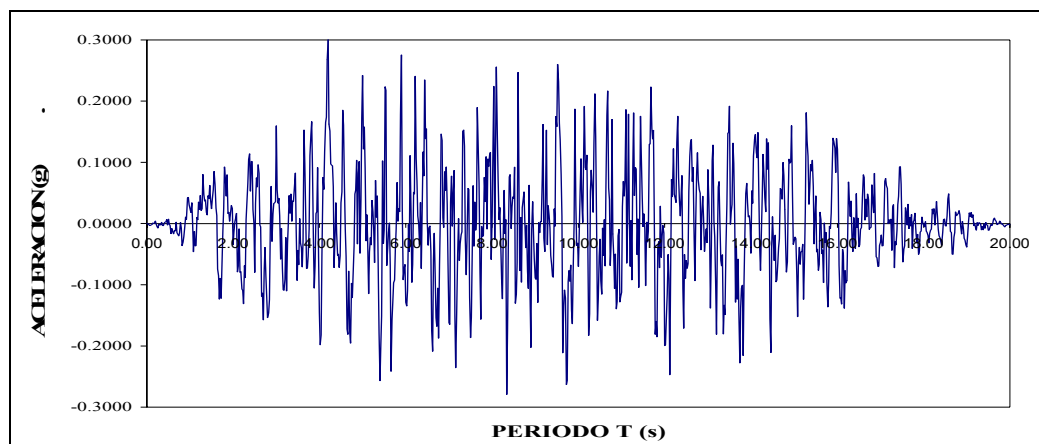


Figura 3.11. Acelerograma Artificial #4 para S1

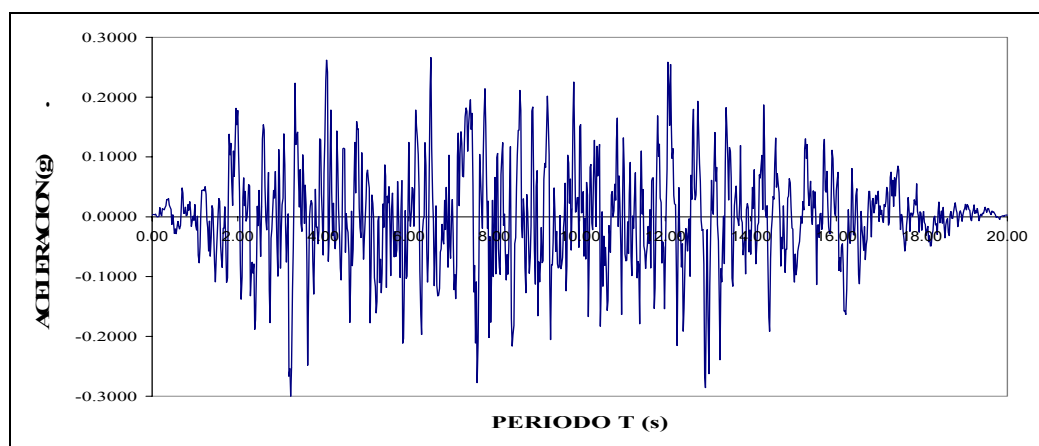


Figura 3.12. Acelerograma Artificial #5 para S1

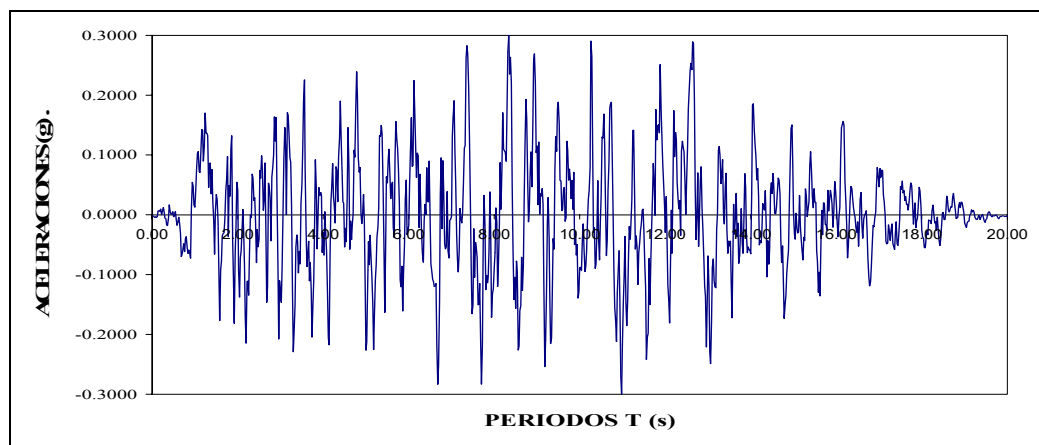


Figura 3.13. Acelerograma Artificial #1 para S2

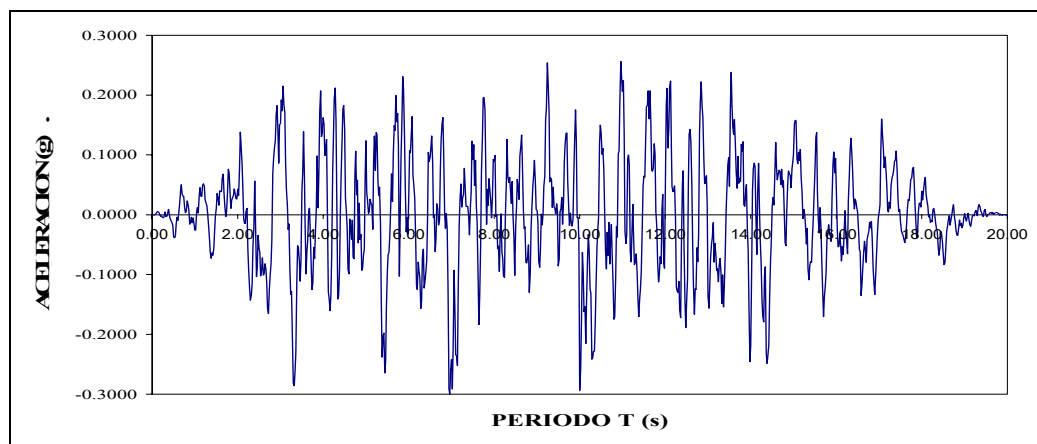


Figura 3.14. Acelerograma Artificial #2 para S2

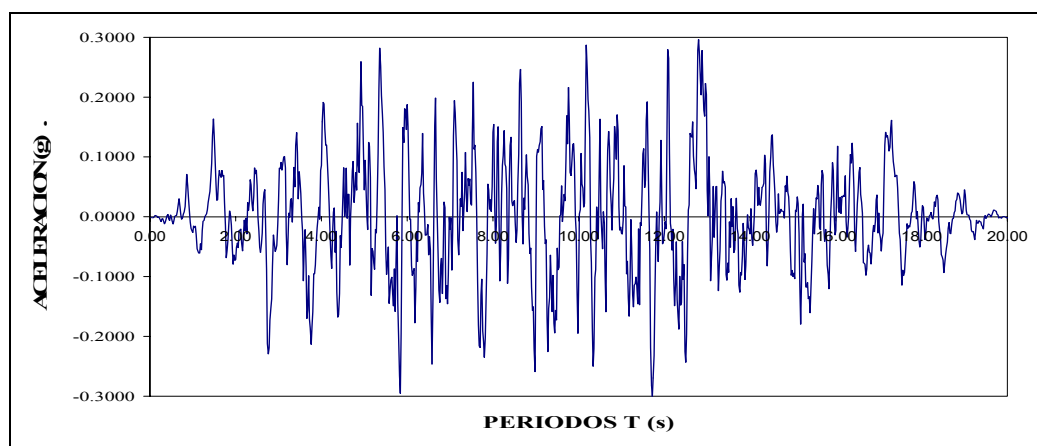


Figura 3.15. Acelerograma Artificial #3 para S2

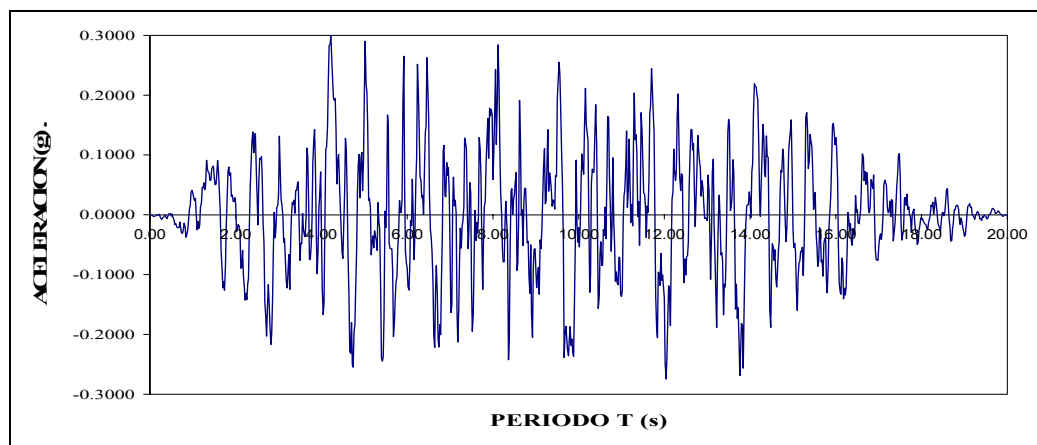


Figura 3.16. Acelerograma Artificial #4 para S2

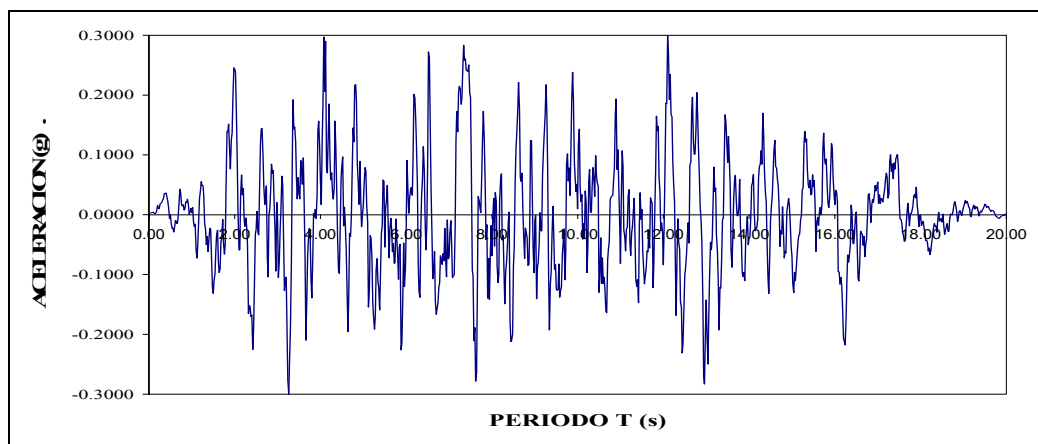


Figura 3.17. Acelerograma Artificial #5 para S2

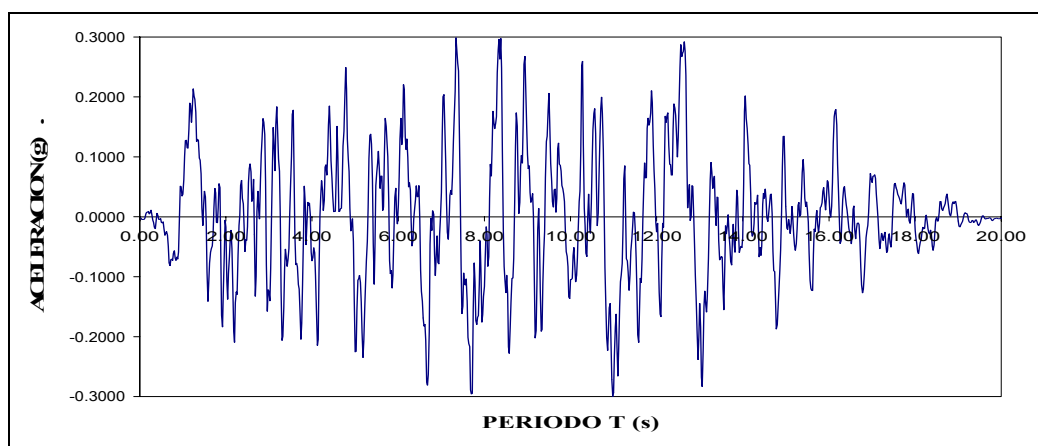


Figura 3.18. Acelerograma Artificial #1 para S3

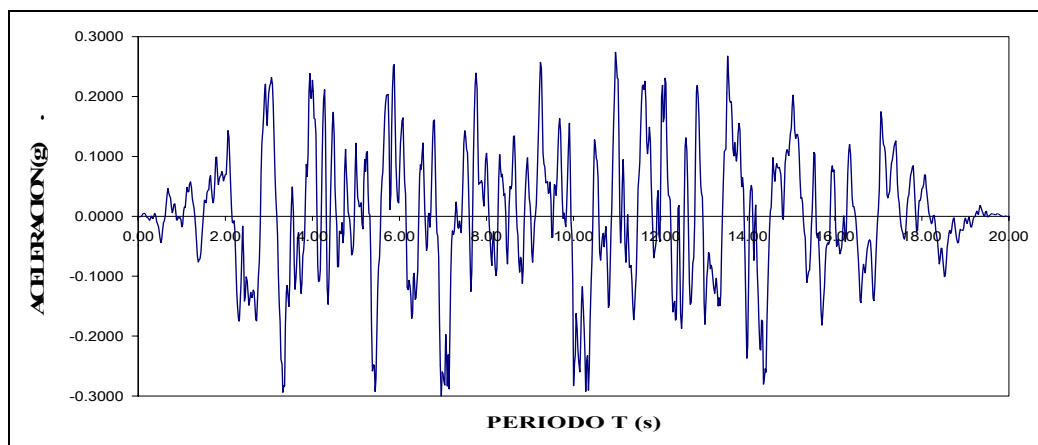


Figura 3.19. Acelerograma Artificial #2 para S3

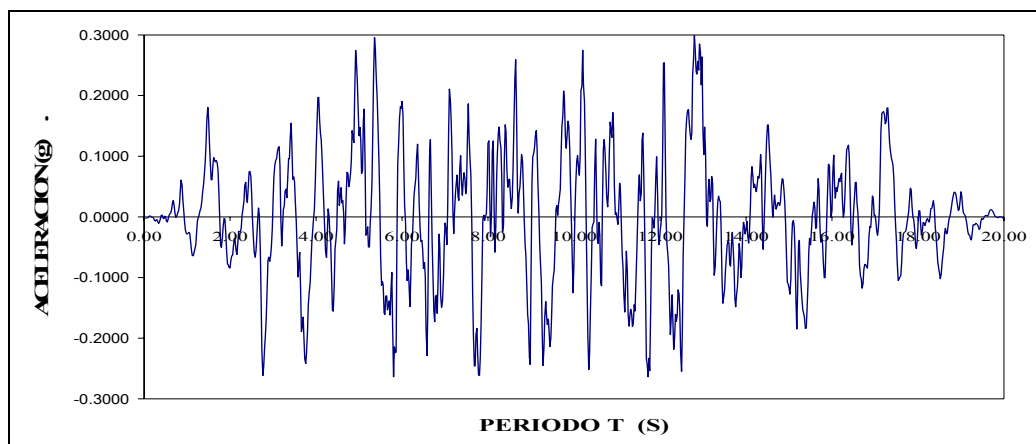


Figura 3.20. Acelerograma Artificial #3 para S3

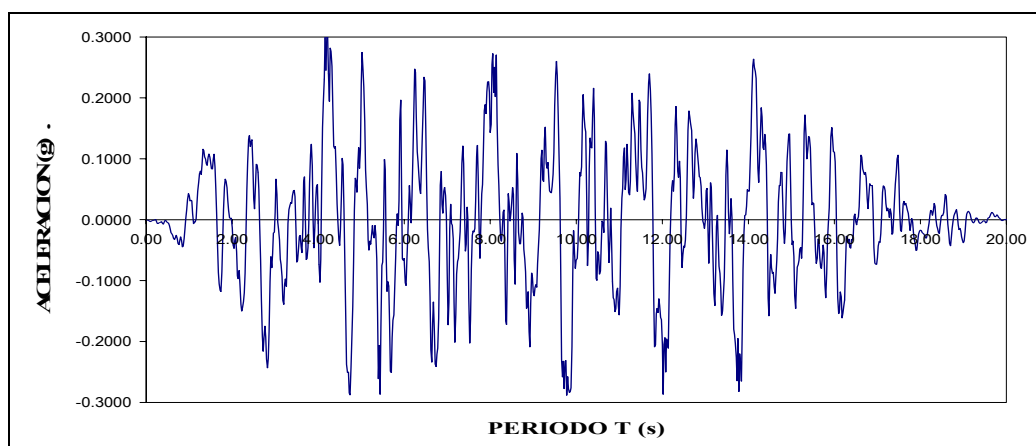


Figura 3.21. Acelerograma Artificial #4 para S3

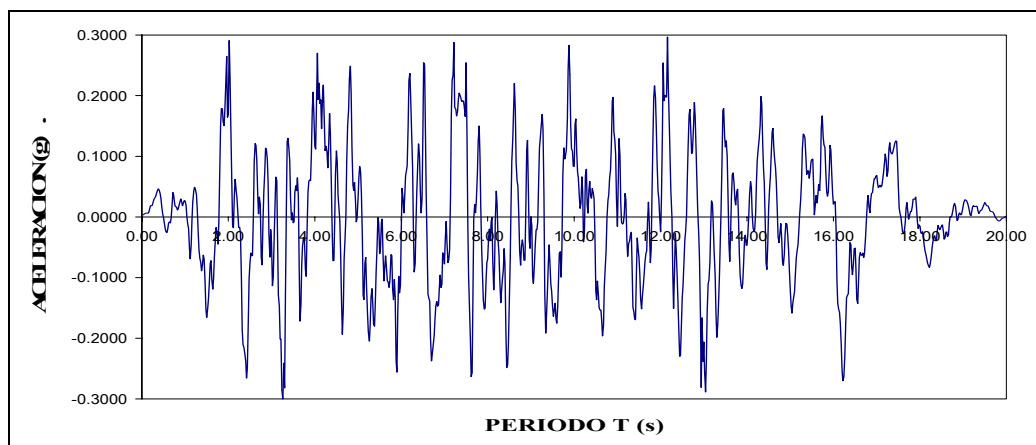


Figura 3.22. Acelerograma Artificial #5 para S3

Las figuras 3.23 a 3.25 que se presentan a continuación muestran los espectros de respuesta de aceleración de cada uno de los sismos artificiales generados, comparándolos con los espectros de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) para cada una de las formas espectrales.

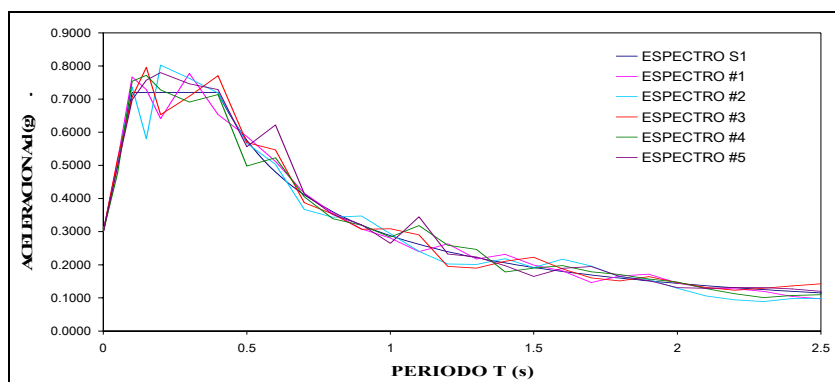


Figura 3.23. Espectros elásticos artificiales para S1.

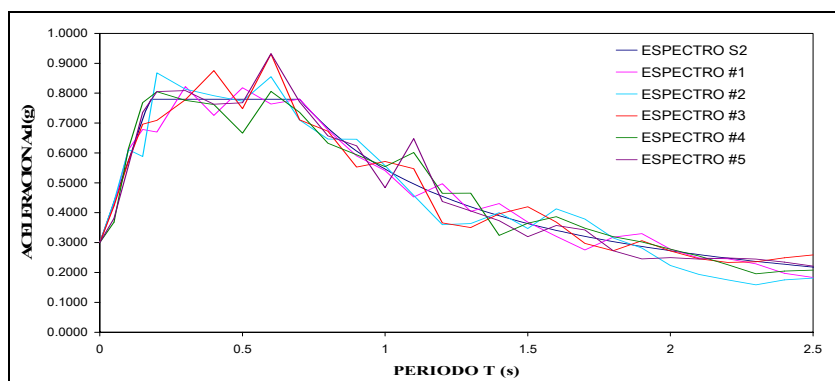


Figura 3.24. Espectros elásticos artificiales para S2.

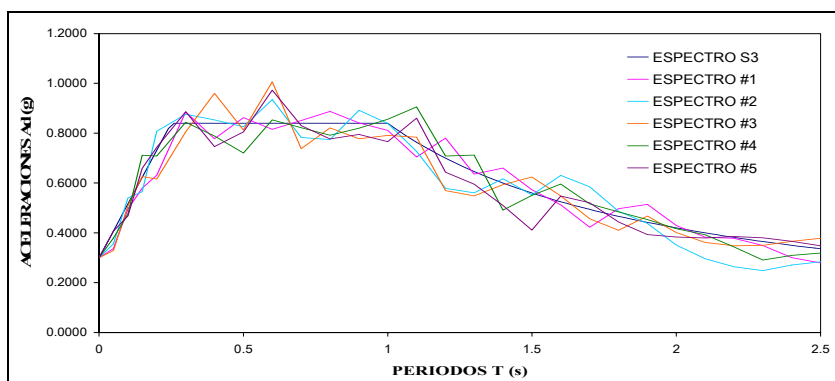


Figura 3.25. Espectros elásticos artificiales para S3.

En las figuras 3.26 a la 3.28 se comparó el promedio de los espectros calculados para cada forma espectral contra el de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) respectivamente. Estos gráficos muestran una muy buena correspondencia entre espectros.

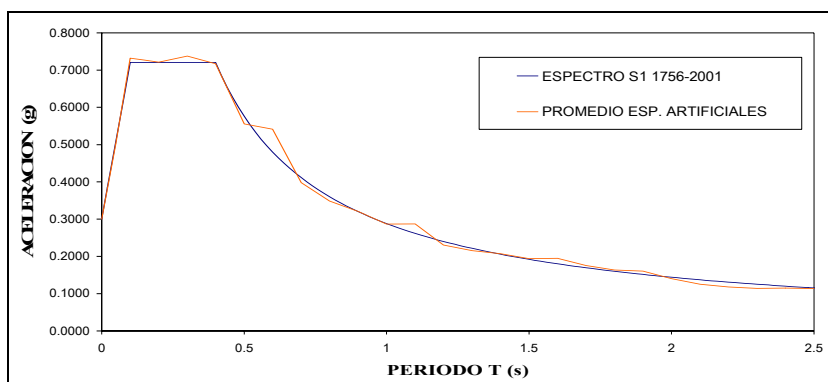


Figura 3.26. Espectro artificial promedio contra el de la Norma para S1.

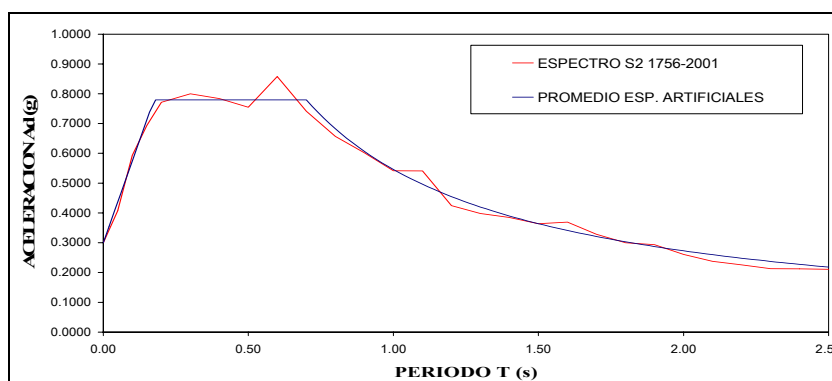


Figura 3.27. Espectro artificial promedio contra el de la Norma para S2.

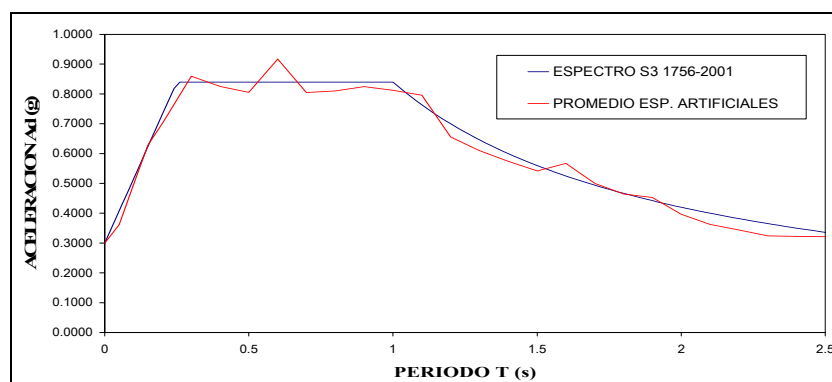


Figura 3.28. Espectro artificial promedio contra el de la Norma para S3.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

Con el objetivo de obtener la respuesta en término de aceleración y apreciar la influencia de las formas espectrales S1, S2 y S3 para cada uno de los pisos de los modelos estudiados, se procedió a realizar con la ayuda del programa Sap 2000, 15 Análisis Dinámicos paso a paso para cada modelo en el rango lineal. Estos análisis se realizaron para los diferentes acelerogramas artificiales obtenidos de los espectros de respuesta elástica de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) [Ref. 2], expuestos en el capítulo anterior, con el fin de obtener las historias de aceleraciones absolutas de cada uno de los pisos. En las figuras 4.1 a 4.15 se presentan las 5 historias de aceleraciones para cada forma espectral del piso 1 para el modelo TP4 a manera de ejemplo.

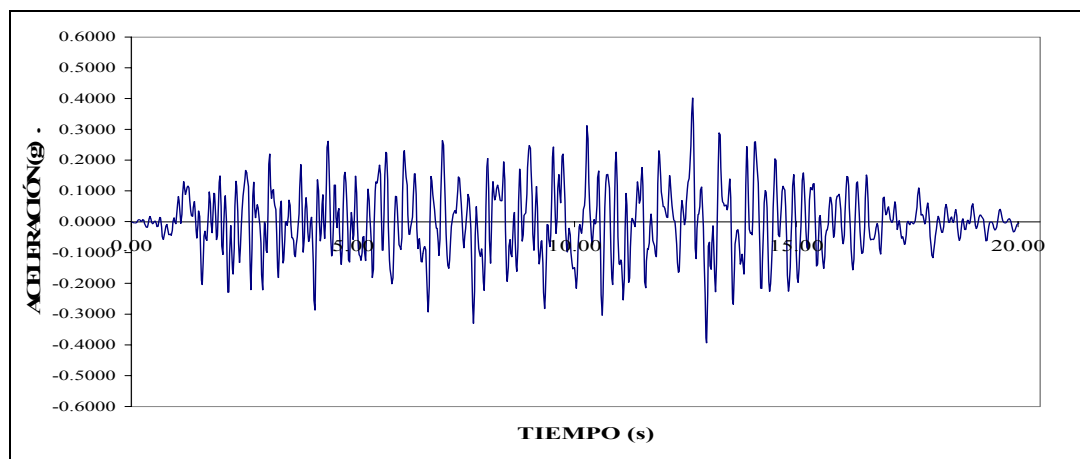


Fig. 4.1 Historia de Aceleraciones # 1 para el piso 1 del TP4S1.

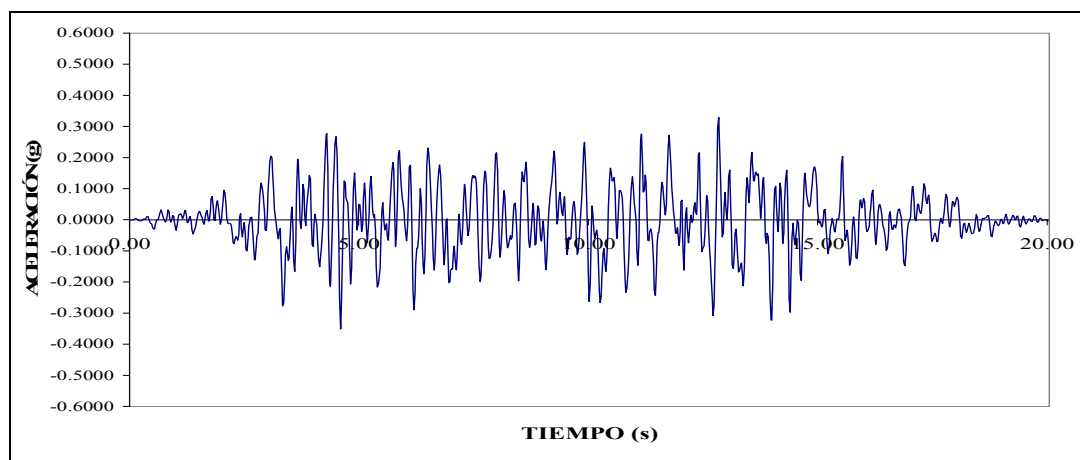


Fig. 4.2 Historia de Aceleraciones # 2 para el piso 1 del TP4S1.

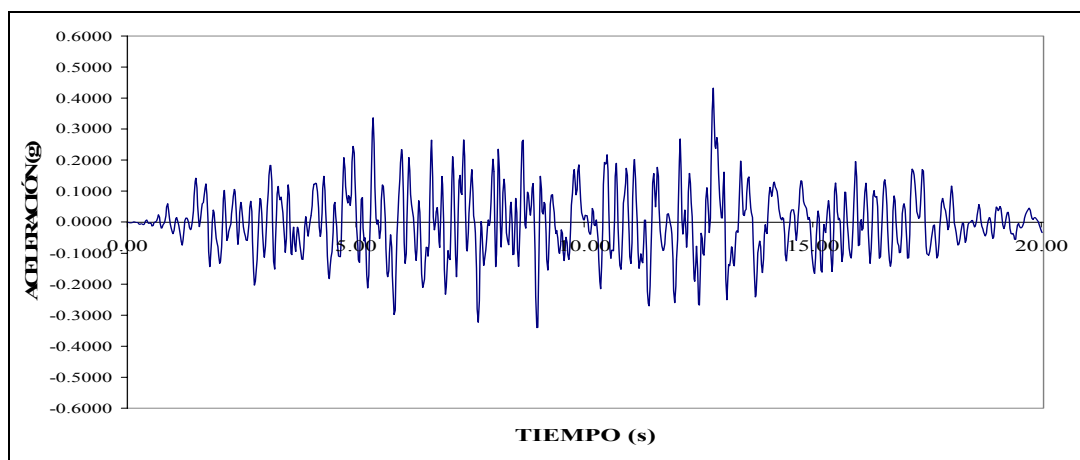


Fig. 4.3 Historia de Aceleraciones # 3 para el piso 1 del TP4S1.

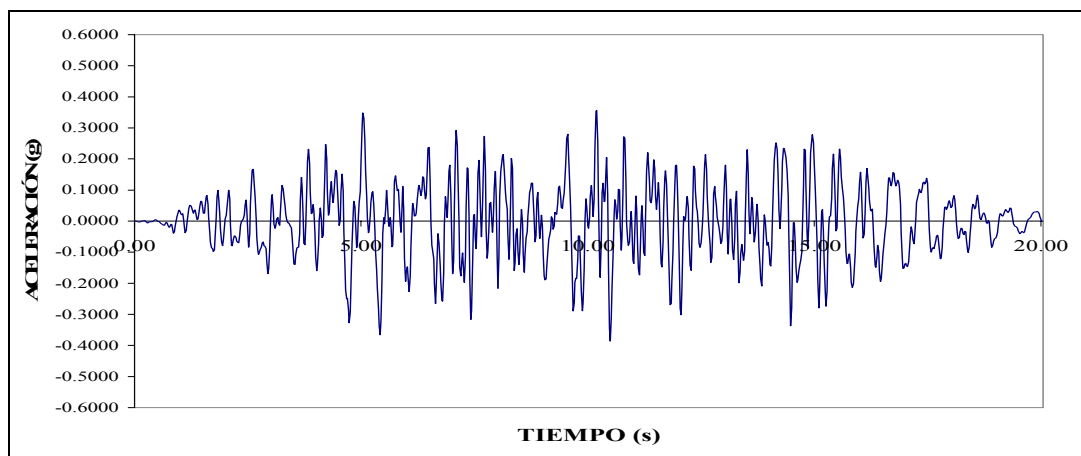


Fig. 4.4 Historia de Aceleraciones # 4 para el piso 1 del TP4S1.

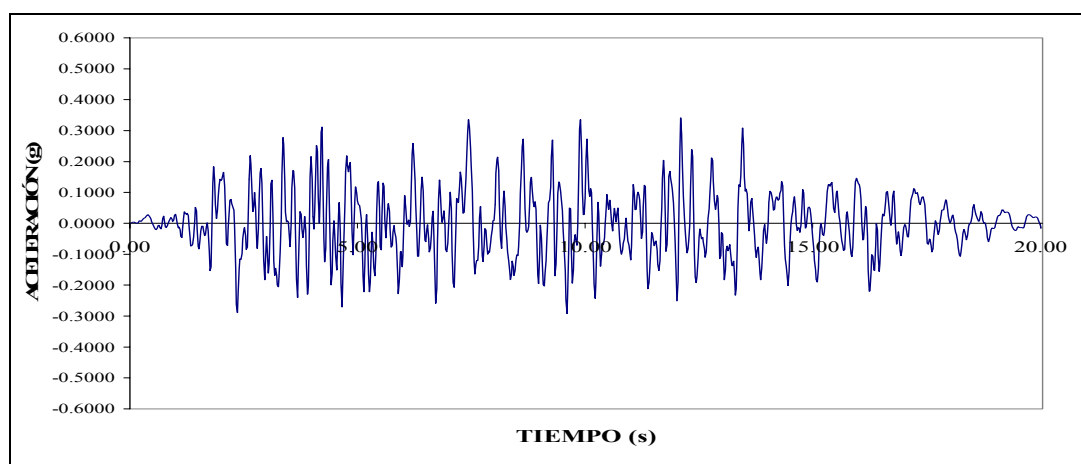


Fig. 4.5 Historia de Aceleraciones # 5 para el piso 1 del TP4S1.

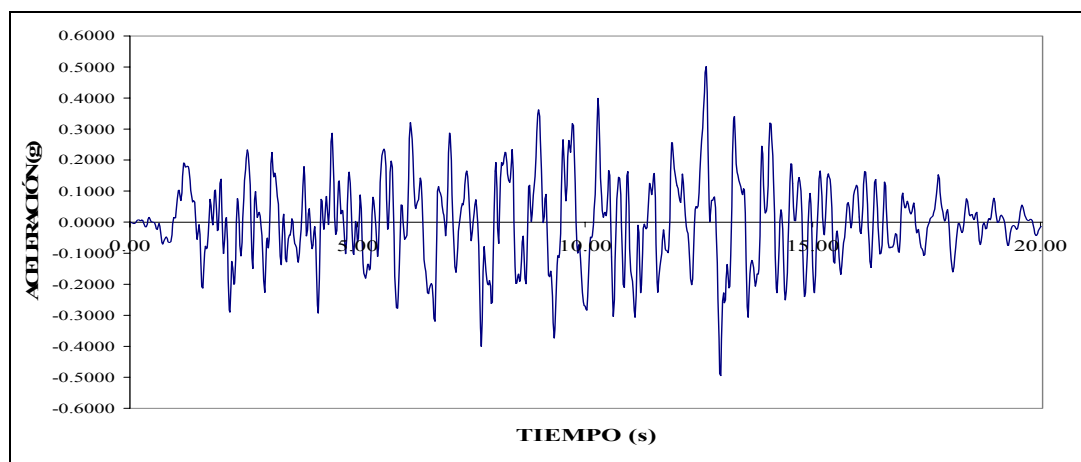


Fig. 4.6 Historia de Aceleraciones # 1 para el piso 1 del TP4S2.

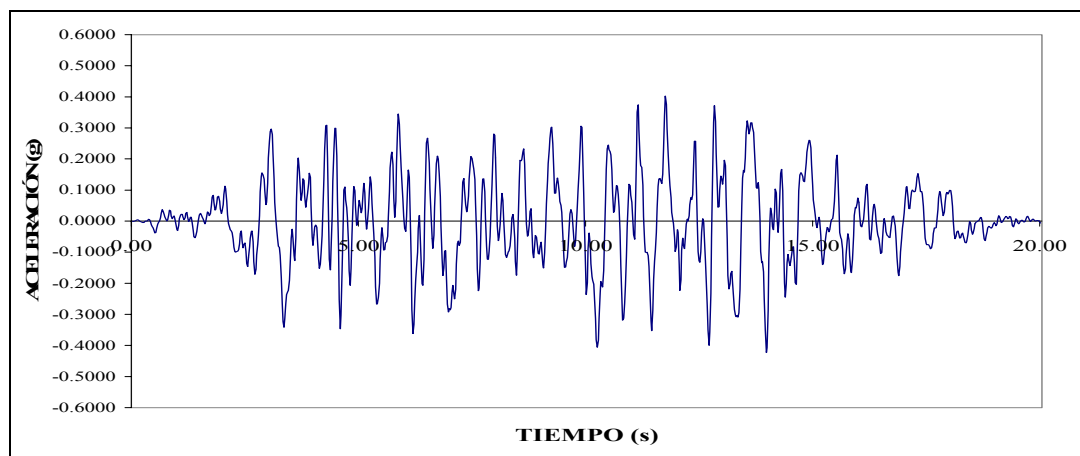


Fig. 4.7 Historia de Aceleraciones # 2 para el piso 1 TP4S2.

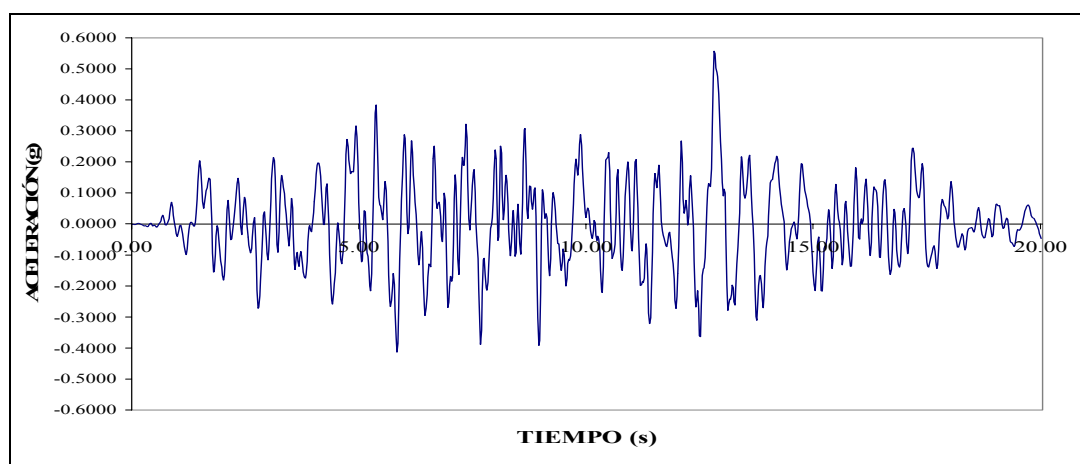


Fig. 4.8 Historia de Aceleraciones # 3 para el piso 1 del TP4S2.

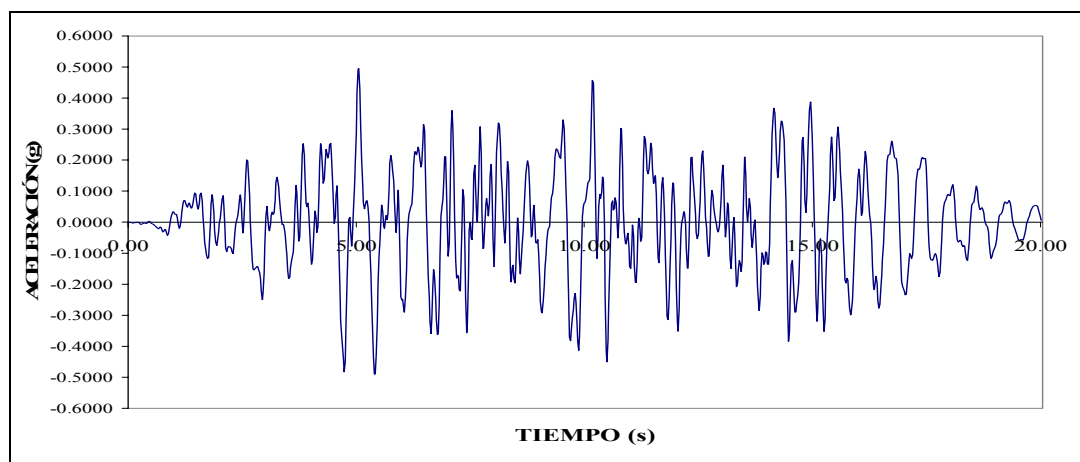


Fig. 4.9 Historia de Aceleraciones # 4 para el piso 1 del TP4S2.

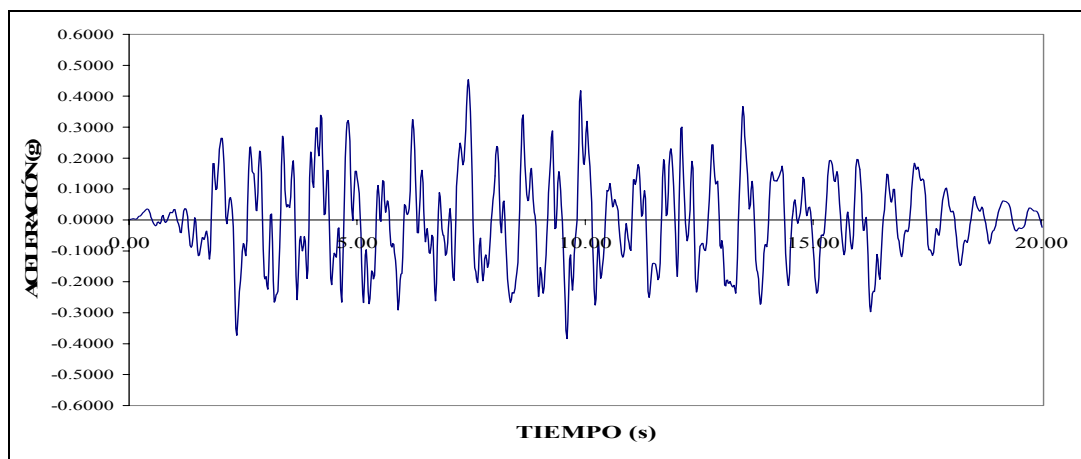


Fig. 4.10 Historia de Aceleraciones # 5 para el piso 1 del TP4S2.

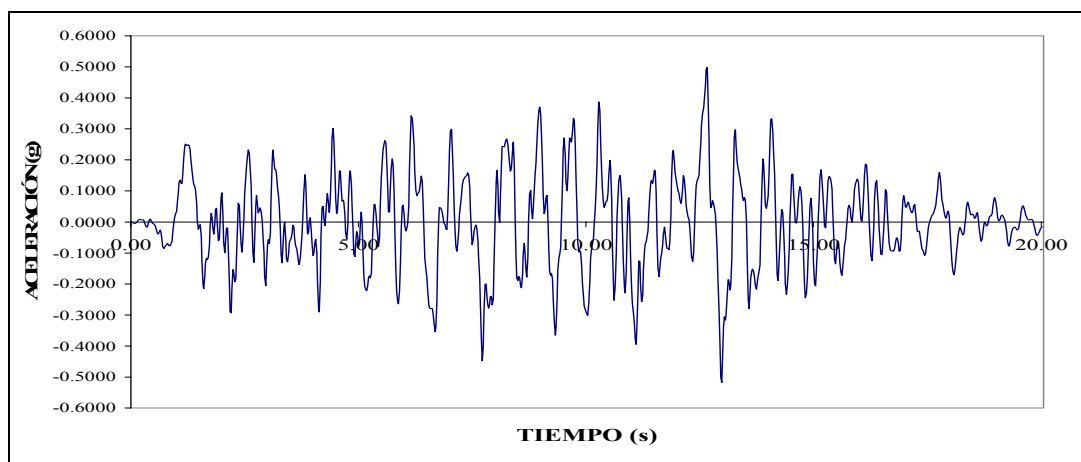


Fig. 4.11 Historia de Aceleraciones # 1 para el piso 1 del TP4S3.

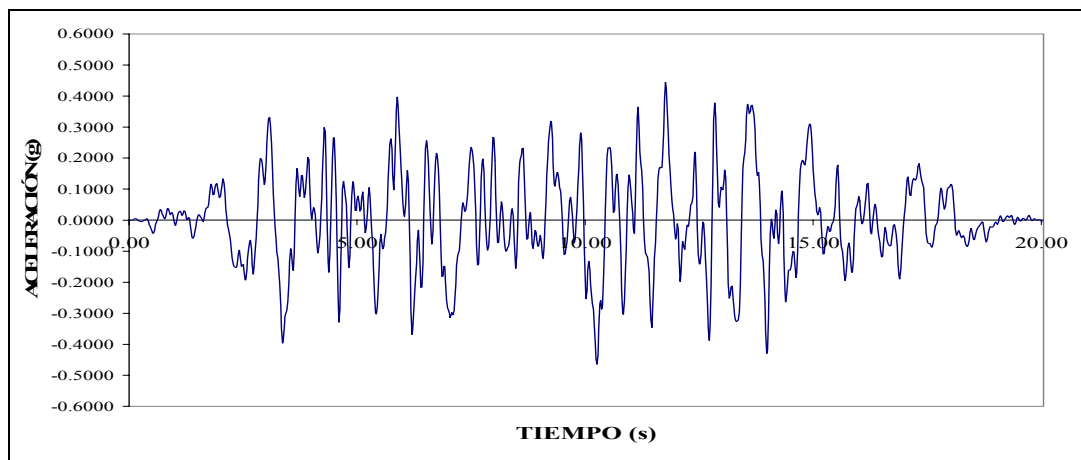


Fig. 4.12 Historia de Aceleraciones # 2 para el piso 1 del TP4S3.

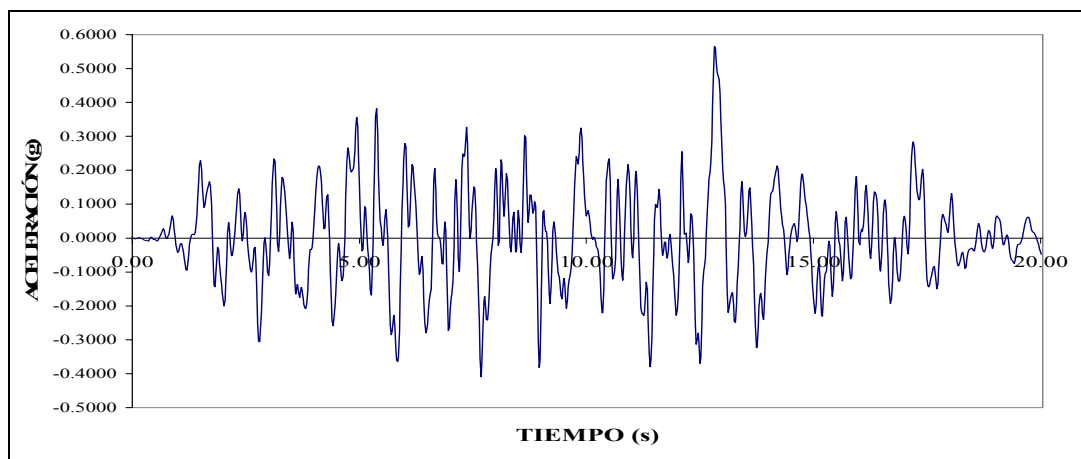


Fig. 4.13 Historia de Aceleraciones # 3 para el piso 1 del TP4S3.

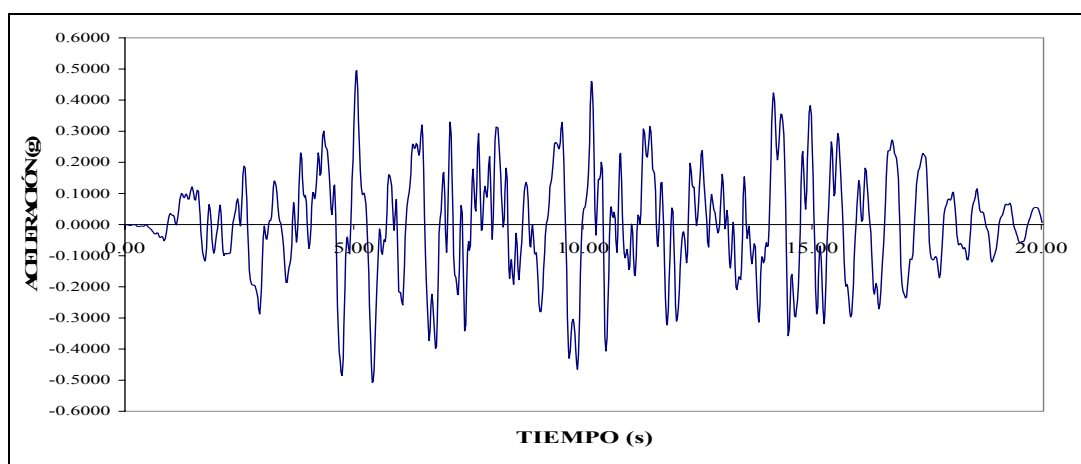


Fig. 4.14 Historia de Aceleraciones # 4 para el piso 1 del TP4S3.

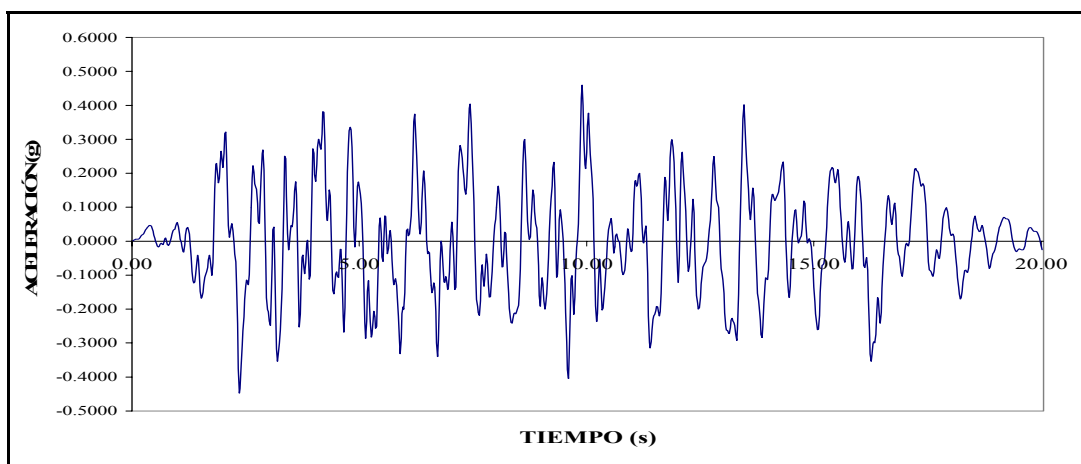


Fig. 4.15 Historia de Aceleraciones # 5 para el piso 1 del TP4S3.

A cada una de estas historias de aceleraciones de piso se les generó su respectivo espectro de respuesta de piso para un amortiguamiento respecto al crítico del 0.05. En las figuras 4.16 a 4.18 se presentan los espectros de respuesta del piso para cada historia de aceleraciones de las formas espectrales S1, S2 y S3.

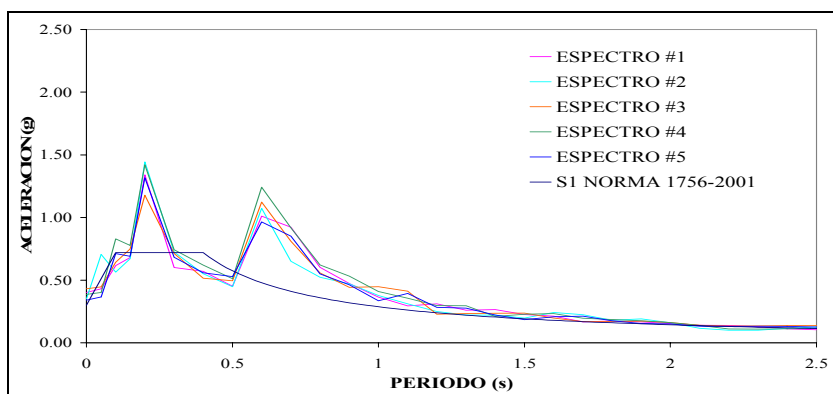


Fig. 4.16 Espectros del piso 1 generados para el modelo TP4S1, $\xi = 0.05$.

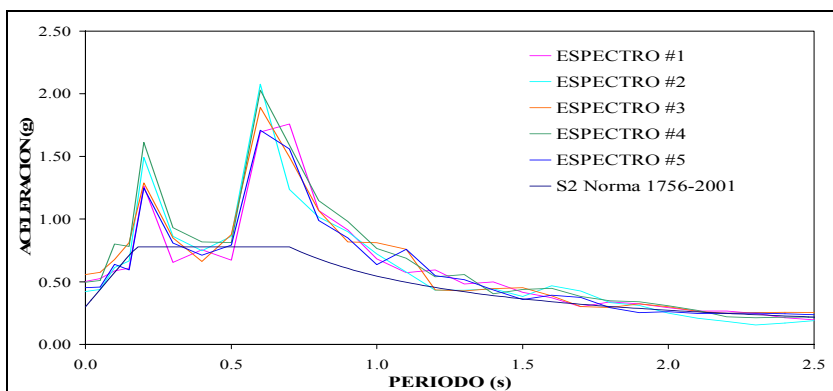


Fig. 4.17 Espectros del piso 1 generados para el modelo TP4S2, $\xi = 0.05$.

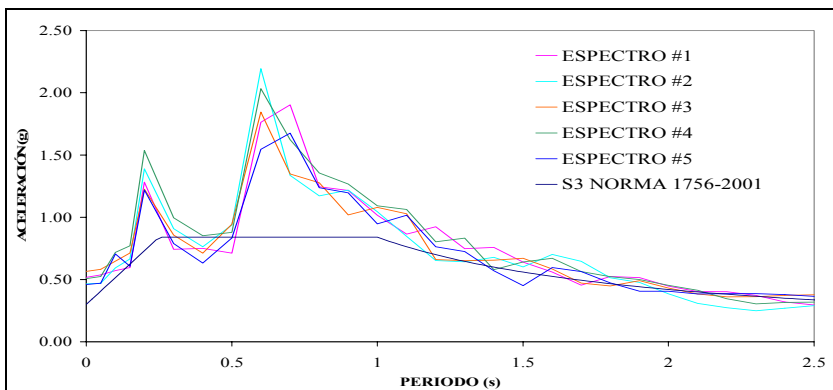


Fig. 4.18 Espectros del piso 1 generados para el modelo TP4S3, $\xi = 0.05$.

Cada uno de los espectros de respuesta antes mostrados se dividió entre la máxima aceleración, ésta se obtiene como la respuesta de un sistema infinitamente rígido ($T=0$), donde su ordenada máxima es el límite del factor de amplificación para modelos de un solo grado de libertad, obteniendo así los espectros amplificados [Ref. 1].

En la tabla 4.1 se muestran las máximas aceleraciones del piso 1 para cada historia de aceleración y forma espectral y en las figuras 4.19 a 4.21 los espectros normalizados.

Historia de Aceleraciones	Forma Espectral S1 (g)	Forma Espectral S2 (g)	Forma Espectral S3 (g)
A1	0.402840	0.502439	0.517604
A2	0.350905	0.422222	0.464089
A3	0.432446	0.557734	0.564959
A4	0.385798	0.495445	0.507743
A5	0.340834	0.453998	0.459934

Tabla 4.1 Máximas Aceleraciones del piso 1 del modelo TP4.

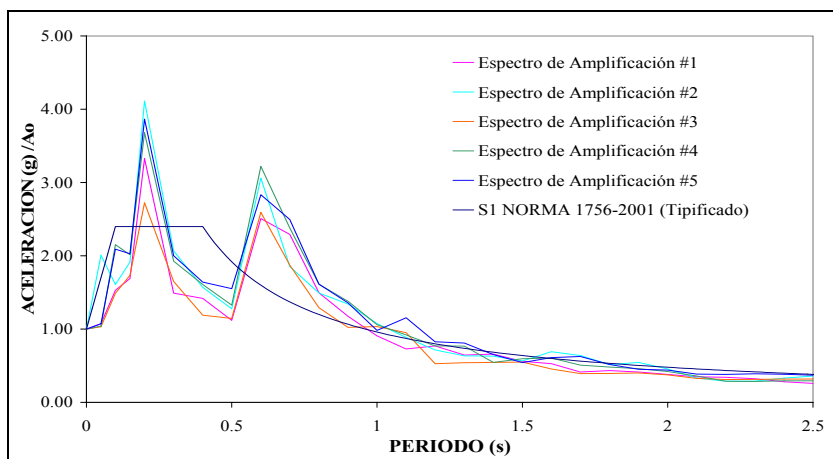


Fig. 4.19 Espectros Normalizados para el modelo TP4S1, $\xi = 0.05$.

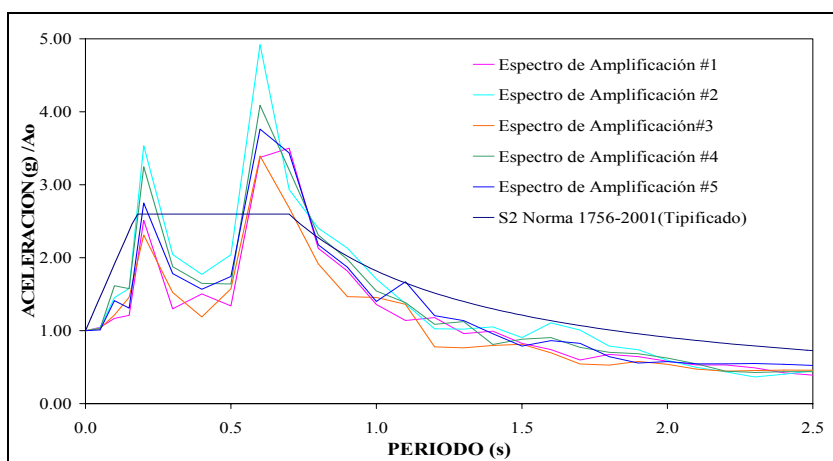


Fig. 4.20 Espectros Normalizados para el modelo TP4S2, $\xi = 0.05$.

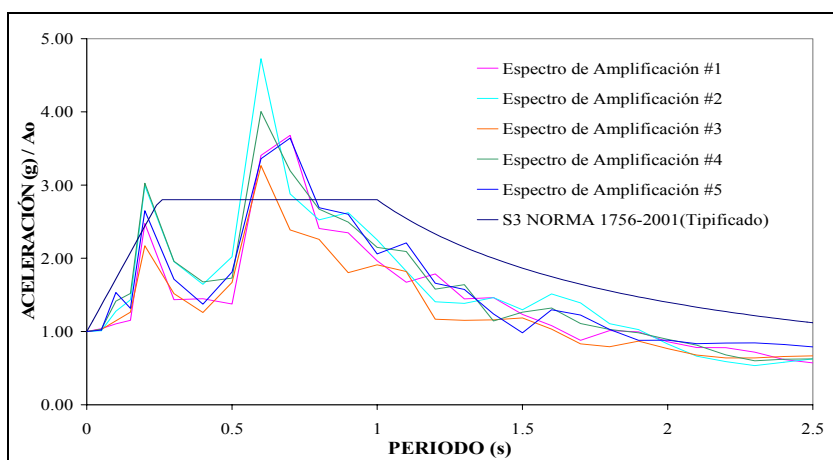


Fig. 4.21 Espectros Normalizados para el modelo TP4S3, $\xi = 0.05$.

En las figuras 4.22 a 4.24 se muestran los promedios de los espectros normalizados anteriores para cada una de las formas espectrales.

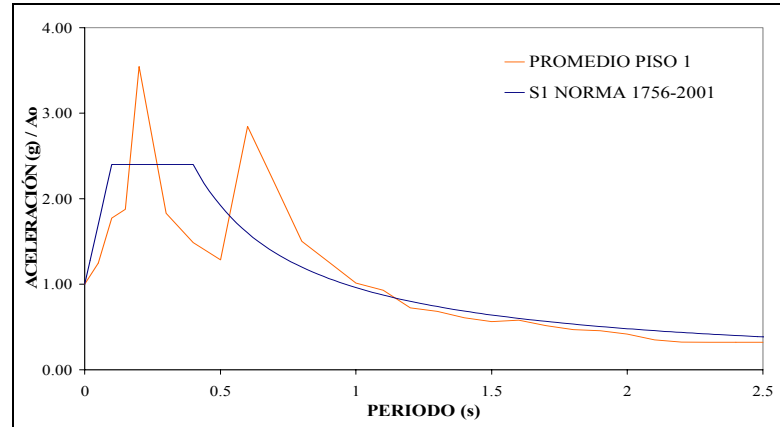


Fig. 4.22 Espectro promedio normalizado del modelo TP4S1, $\xi = 0.05$.

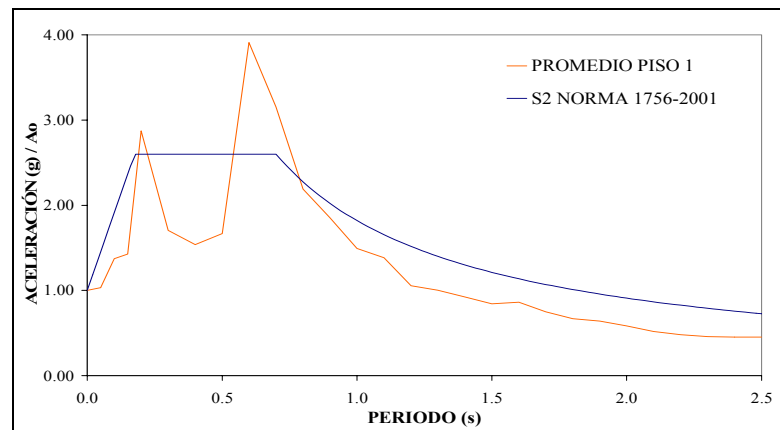


Fig. 4.23 Espectro promedio normalizado del modelo TP4S2, $\xi = 0.05$.

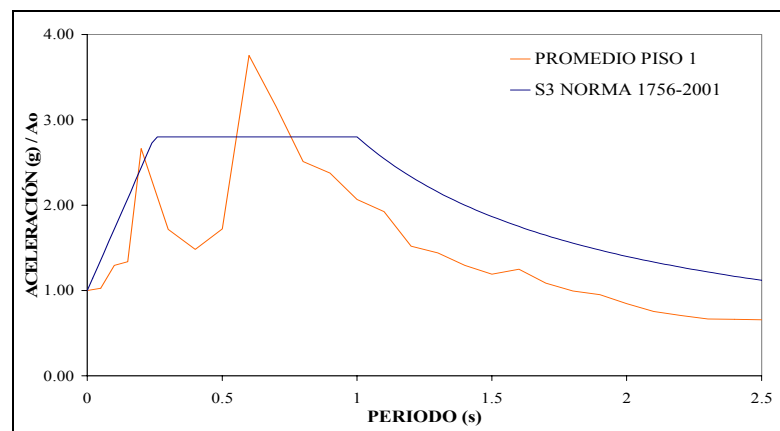


Fig. 4.24 Espectro promedio normalizado del modelo TP4S3, $\xi = 0.05$.

4.1.- Resultados Modelo TP4, $\xi = 0.05$.

A continuación en la tabla 4.2 se presentan las máximas aceleraciones para cada historia de aceleraciones de piso y en las figura 4.25 a 4.27 el promedio de los espectros de respuesta normalizado de piso generados para cada uno de los niveles del modelo TP4, para cada una de las formas espectrales.

	Historia de Aceleraciones	Forma Espectral S1 (g)	Forma Espectral S2 (g)	Forma Espectral S3 (g)
PISO 1	A1	0.402840	0.502439	0.517604
	A2	0.350905	0.422222	0.464089
	A3	0.432446	0.557734	0.564959
	A4	0.385798	0.495445	0.507743
	A5	0.340834	0.453998	0.459934
PISO 2	A1	0.431238	0.660858	0.692043
	A2	0.468632	0.739227	0.799764
	A3	0.592956	0.874592	0.871545
	A4	0.498192	0.755412	0.752985
	A5	0.398972	0.587765	0.616158
PISO 3	A1	0.488088	0.711735	0.746651
	A2	0.568221	0.939212	1.015645
	A3	0.654476	1.014427	1.049800
	A4	0.548797	0.866226	0.916008
	A5	0.593231	0.855999	0.903130
PISO 4	A1	0.670130	0.920575	0.960891
	A2	0.653328	1.010755	1.095771
	A3	0.688268	1.058191	1.079829
	A4	0.684996	1.005652	1.061221
	A5	0.679967	1.054828	1.102979

Tabla 4.2 Máximas Aceleraciones por piso del modelo TP4.

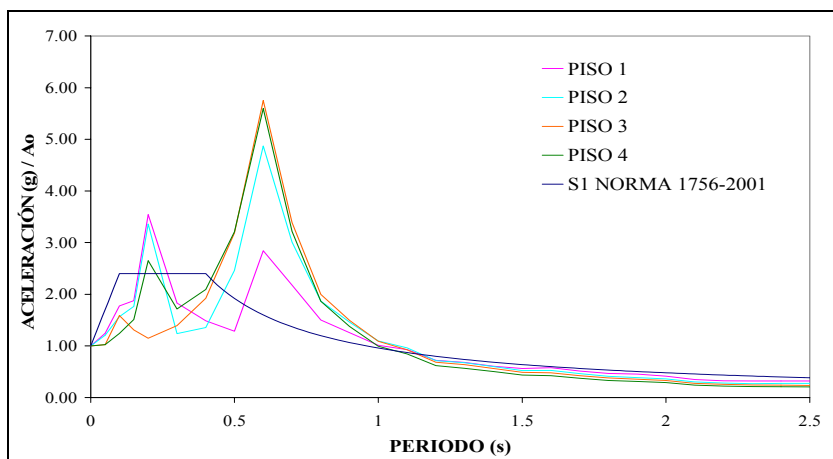


Fig. 4.25 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP4S1, $\xi = 0.05$.

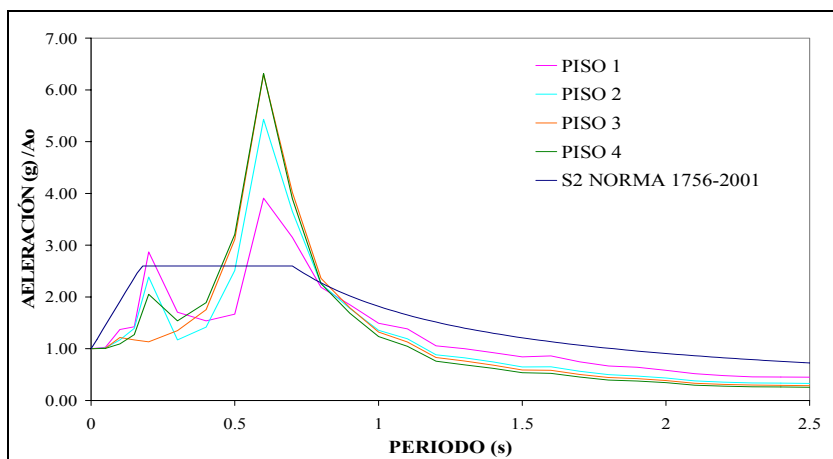


Fig. 4.26 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP4S2, $\xi = 0.05$.

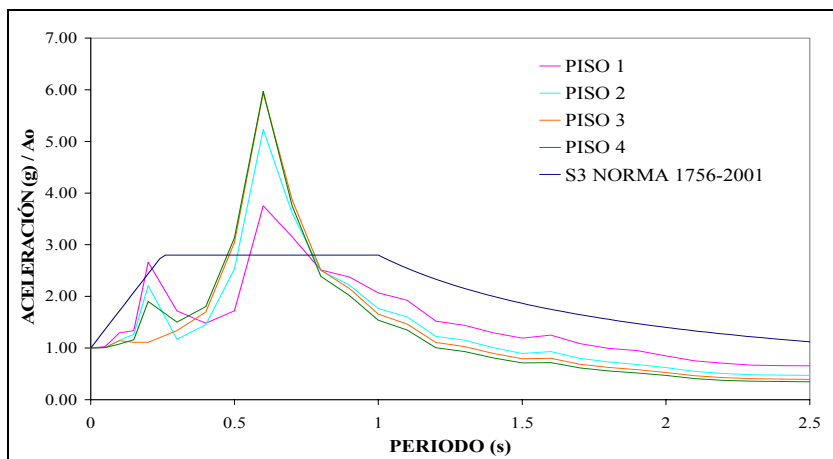


Fig. 4.27 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP4S3, $\xi = 0.05$.

Siguiendo el mismo procedimiento planteado anteriormente se procedió a evaluar los otros modelos en consideración. En las tablas 4.3 a 4.7 se presentan las máximas aceleraciones de piso para cada historia de aceleraciones y en las figuras 4.28 a la 4.39 se representan los promedios de los espectros normalizado por cada piso y para cada una de las formas espectrales de las estructuras restantes estudiadas.

4.2.- Resultados Modelo TP2, $\xi = 0.05$.

	Historia de Aceleraciones	Forma Espectral S1	Forma Espectral S2	Forma Espectral S3
PISO 1	A1	0.591231	0.604379	0.630390
	A2	0.644607	0.642128	0.698276
	A3	0.510095	0.537202	0.585673
	A4	0.656590	0.683415	0.716666
	A5	0.518038	0.508662	0.595161
PISO 2	A1	0.804538	0.829435	0.918980
	A2	0.865634	0.901666	0.971063
	A3	0.893999	0.894114	0.985181
	A4	0.907475	0.950564	1.027336
	A5	0.967918	0.901954	0.941672

Tabla 4.3 Máximas Aceleraciones por piso del modelo TP2.

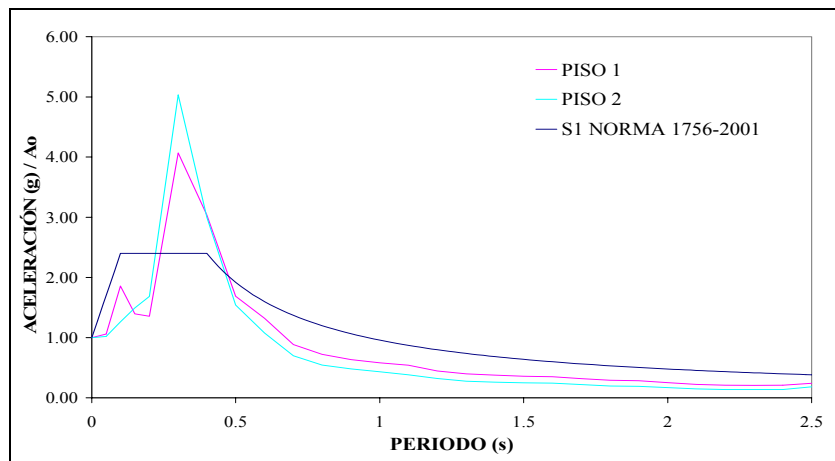


Fig. 4.28 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP2S1, $\xi = 0.05$.

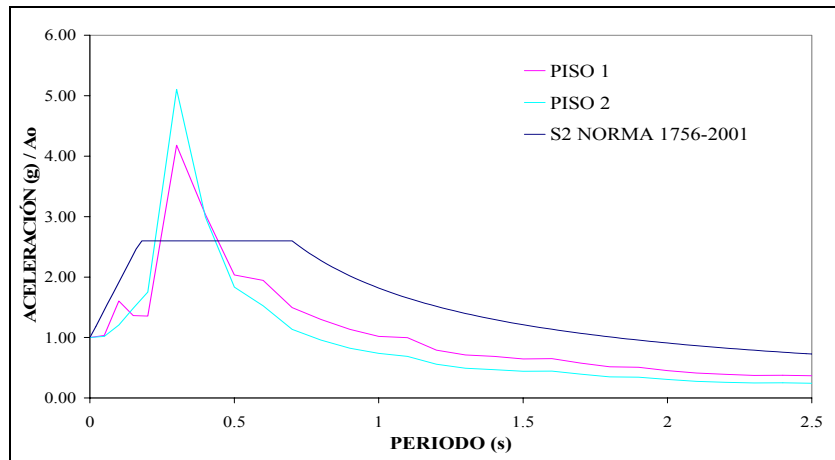


Fig. 4.29 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP2S2, $\xi = 0.05$.

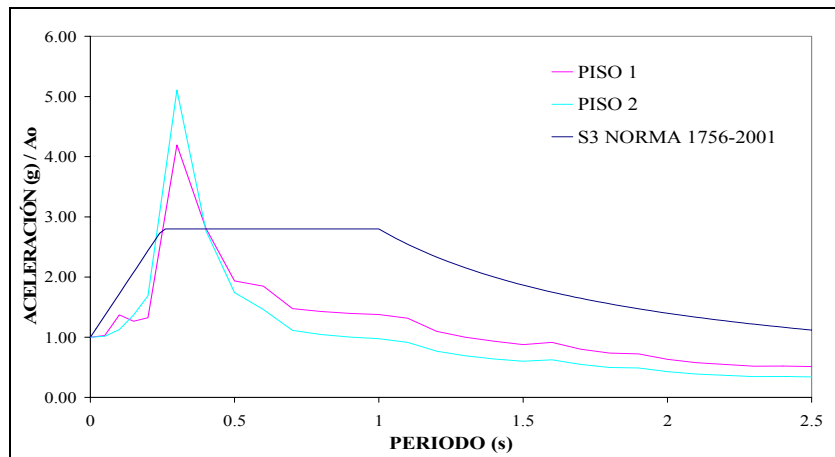


Fig. 4.30 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP2S3, $\xi = 0.05$.

4.3.- Resultados Modelo TP10, $\xi = 0.05$.

	Historia de Aceleraciones	Forma Espectral S1	Forma Espectral S2	Forma Espectral S3
PISO 1	A1	0.303482	0.383238	0.419493
	A2	0.392804	0.373592	0.424647
	A3	0.300490	0.341139	0.357634
	A4	0.333900	0.346456	0.397135
	A5	0.364333	0.353833	0.332793
PISO 2	A1	0.366411	0.446662	0.563412
	A2	0.389596	0.445698	0.526581
	A3	0.383931	0.428840	0.486740
	A4	0.367323	0.482372	0.575161
	A5	0.427585	0.431768	0.492512
PISO 3	A1	0.440703	0.542956	0.695362
	A2	0.437135	0.561315	0.686337
	A3	0.380783	0.477803	0.615899
	A4	0.427779	0.587098	0.708277
	A5	0.456842	0.598737	0.695624
PISO 4	A1	0.455108	0.568901	0.759621
	A2	0.508117	0.627646	0.833913
	A3	0.413422	0.524879	0.722952
	A4	0.462124	0.615070	0.790732
	A5	0.493276	0.680924	0.782480
PISO 5	A1	0.415511	0.580651	0.790614
	A2	0.486398	0.675357	0.935855
	A3	0.367224	0.528878	0.778266
	A4	0.489761	0.680777	0.885643
	A5	0.426821	0.670257	0.803810
PISO 6	A1	0.391315	0.626706	0.869689
	A2	0.459349	0.703803	0.997385
	A3	0.436440	0.628198	0.842748
	A4	0.479182	0.678277	0.906369
	A5	0.380261	0.646707	0.919950
PISO 7	A1	0.385740	0.683566	0.950442
	A2	0.448619	0.719303	1.014458
	A3	0.479238	0.691426	0.935604
	A4	0.399112	0.660060	0.888109
	A5	0.417512	0.705314	1.007104
PISO 8	A1	0.430216	0.730211	1.003809
	A2	0.453572	0.760387	1.022513
	A3	0.488522	0.723305	0.998101
	A4	0.480432	0.796478	0.971518
	A5	0.412535	0.687832	1.017112
PISO 9	A1	0.457337	0.765519	1.064551
	A2	0.478300	0.752448	1.060330
	A3	0.485446	0.779667	1.059970
	A4	0.573452	0.889523	1.069540
	A5	0.528956	0.804526	1.069746
PISO 10	A1	0.563587	0.829718	1.083300
	A2	0.600177	0.845791	1.120824
	A3	0.643791	0.885227	1.137524
	A4	0.591758	0.901001	1.111419
	A5	0.627346	0.904614	1.154446

Tabla 4.4 Máximas Aceleraciones por piso del modelo TP10.

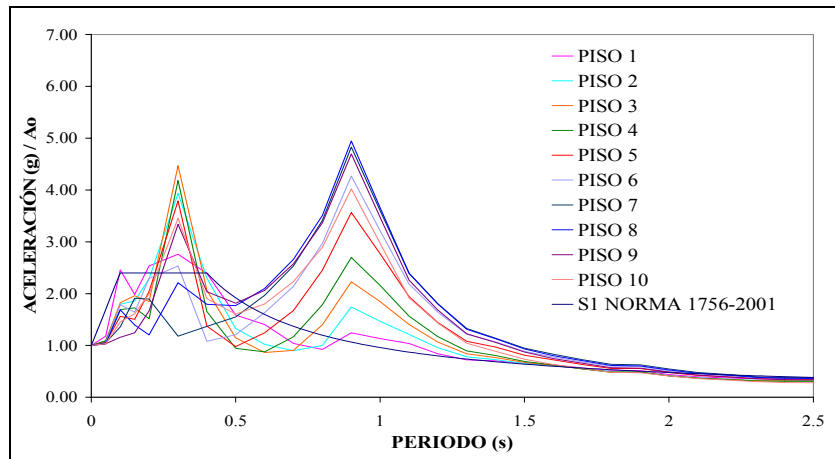


Fig. 4.31 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP10S1, $\xi = 0.05$.

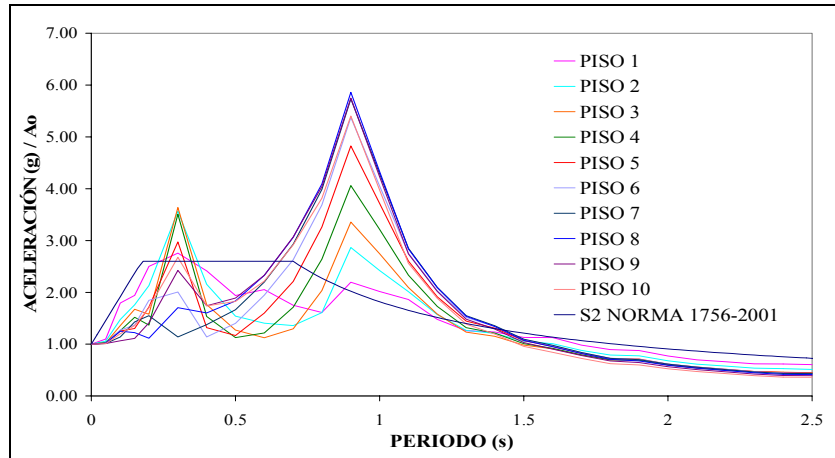


Fig. 4.32 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP10S2, $\xi = 0.05$.

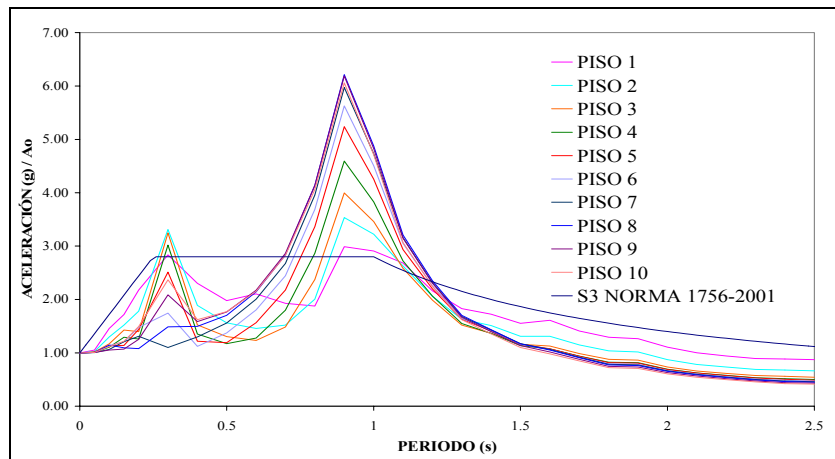


Fig. 4.33 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP10S3, $\xi = 0.05$.

4.4.- Resultados Modelo TM2, $\xi = 0.05$.

	Historia de Aceleraciones	Forma Espectral S1	Forma Espectral S2	Forma Espectral S3
PISO 1	A1	0.3820	0.3890	0.3949
	A2	0.4980	0.4245	0.4088
	A3	0.4262	0.4240	0.3606
	A4	0.3799	0.4012	0.3545
	A5	0.4671	0.4823	0.3744
PISO 2	A1	0.7793	0.6868	0.6071
	A2	0.8623	0.6593	0.6053
	A3	0.8118	0.7195	0.6220
	A4	0.8447	0.7500	0.6445
	A5	0.8707	0.7136	0.5795

Tabla 4.5 Máximas Aceleraciones por piso del modelo TM2.

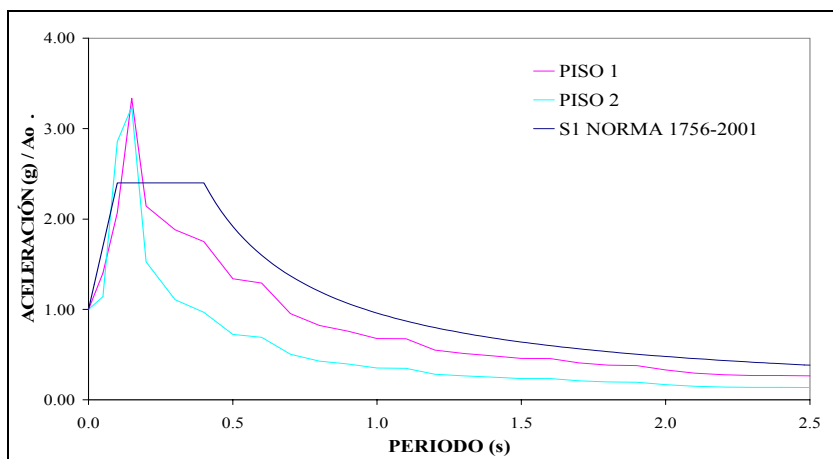


Fig. 4.34 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM2S1, $\xi = 0.05$.

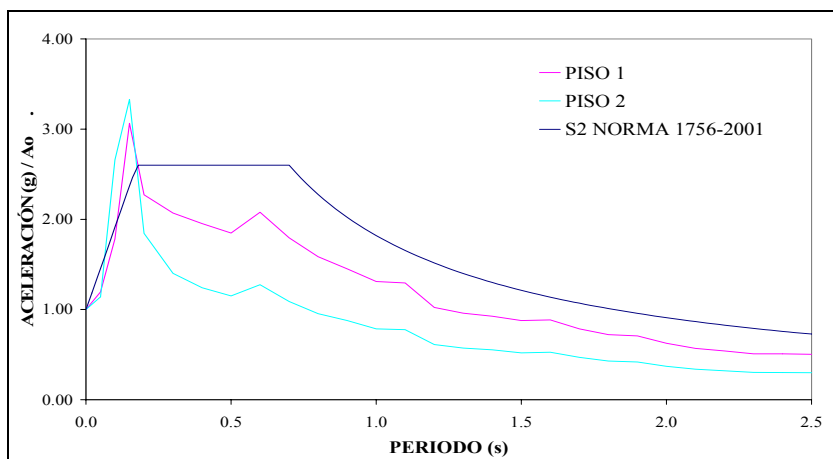


Fig. 4.35 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM2S2, $\xi = 0.05$.

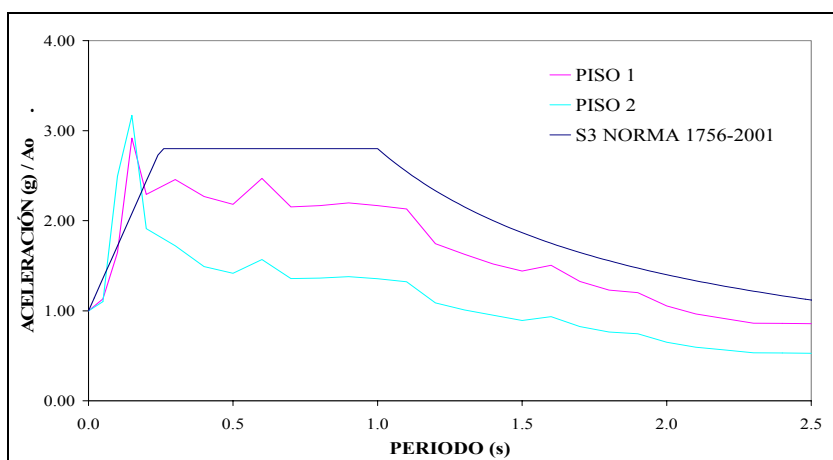


Fig. 4.36 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM2S3, $\xi = 0.05$.

4.5.- Resultados Modelo TM4, $\xi = 0.05$.

	Historia de Aceleraciones	Forma Espectral S1	Forma Espectral S2	Forma Espectral S3
PISO 1	A1	0.3590	0.3281	0.3459
	A2	0.4597	0.4105	0.4278
	A3	0.3787	0.3533	0.3488
	A4	0.4023	0.3616	0.3752
	A5	0.3552	0.3260	0.3495
PISO 2	A1	0.4966	0.4931	0.5045
	A2	0.6493	0.6352	0.6584
	A3	0.5081	0.4975	0.5051
	A4	0.6103	0.5621	0.6170
	A5	0.4500	0.4537	0.4831
PISO 3	A1	0.7017	0.7236	0.7947
	A2	0.7565	0.8155	0.8111
	A3	0.6901	0.4205	0.7527
	A4	0.7469	0.7989	0.8707
	A5	0.6640	0.6779	0.7822
PISO 4	A1	1.0179	1.0551	1.1140
	A2	1.0151	1.0100	1.0739
	A3	0.9294	0.9535	1.0222
	A4	1.0735	0.9996	1.0793
	A5	0.9638	0.9726	1.0905

Tabla 4.6 Máximas Aceleraciones por piso del modelo TM4.

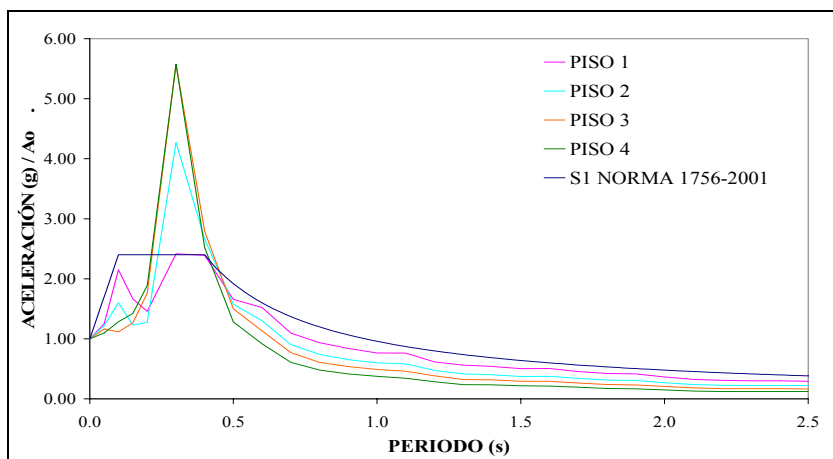


Fig. 4.37 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM4S1, $\xi = 0.05$.

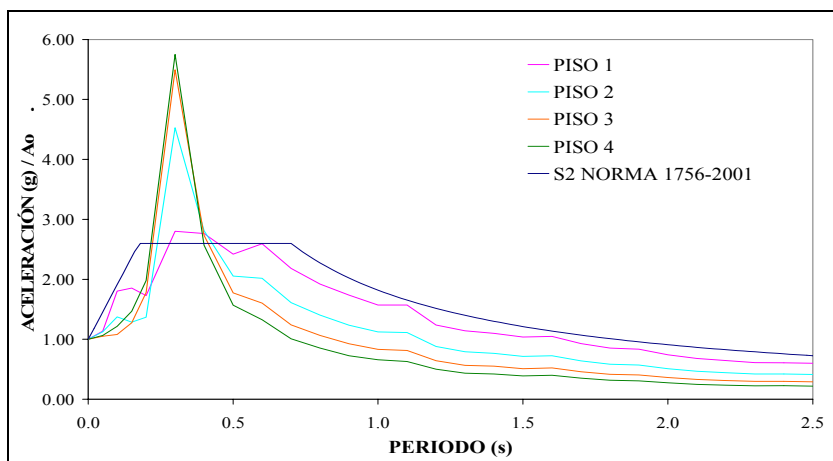


Fig. 4.38 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM4S2, $\xi = 0.05$.

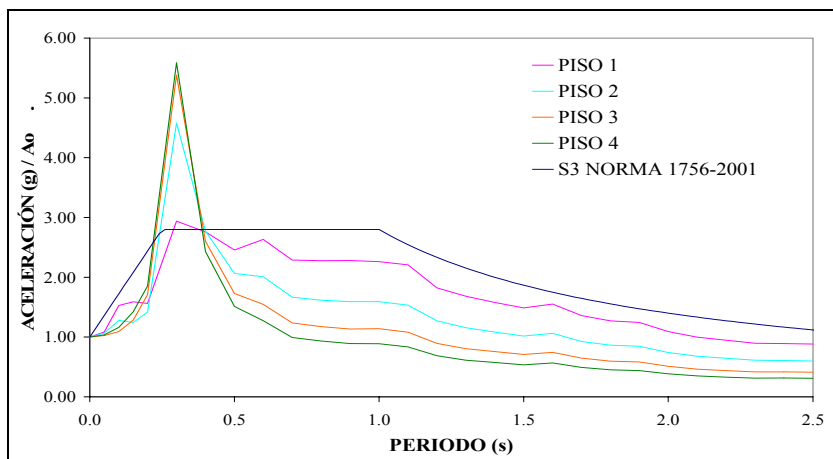


Fig. 4.39 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM4S3, $\xi = 0.05$.

4.6.- Resultados Modelo TM12, $\xi = 0.05$.

	Historia de Aceleraciones	Forma Espectral S1	Forma Espectral S2	Forma Espectral S3
PISO 1	A1	0.2744	0.3042	0.3109
	A2	0.2941	0.2956	0.3074
	A3	0.2942	0.2888	0.2946
	A4	0.3087	0.3105	0.3160
	A5	0.3312	0.3407	0.3505
PISO 2	A1	0.3045	0.3389	0.3957
	A2	0.2960	0.3363	0.3614
	A3	0.3036	0.3408	0.3473
	A4	0.3299	0.3760	0.3719
	A5	0.4086	0.4229	0.4454
PISO 3	A1	0.3588	0.4327	0.4907
	A2	0.3820	0.4271	0.4769
	A3	0.3928	0.4121	0.4341
	A4	0.4047	0.4790	0.5271
	A5	0.4808	0.5295	0.5758
PISO 4	A1	0.4233	0.5243	0.5749
	A2	0.4392	0.5136	0.5567
	A3	0.4025	0.4526	0.5108
	A4	0.5185	0.6132	0.6748
	A5	0.4902	0.5905	0.6661
PISO 5	A1	0.4545	0.6209	0.6706
	A2	0.4301	0.5625	0.6081
	A3	0.3784	0.5204	0.5666
	A4	0.5565	0.7036	0.7762
	A5	0.4387	0.5963	0.7039
PISO 6	A1	0.4605	0.6881	0.7346
	A2	0.4212	0.6510	0.7185
	A3	0.3889	0.5422	0.6227
	A4	0.5291	0.7926	0.9018
	A5	0.4364	0.6162	0.7558
PISO 7	A1	0.4984	0.7724	0.7751
	A2	0.5110	0.8020	0.8503
	A3	0.4183	0.6163	0.6911
	A4	0.5517	0.8961	1.0012
	A5	0.4396	0.6822	0.7813
PISO 8	A1	0.5322	0.8273	0.8426
	A2	0.5628	0.9070	0.9458
	A3	0.4472	0.6926	0.7202
	A4	0.5941	0.9461	1.0580
	A5	0.4816	0.7539	0.8294
PISO 9	A1	0.5324	0.8510	0.8803
	A2	0.6024	0.8929	1.0712
	A3	0.4695	0.7579	0.7591
	A4	0.5855	0.9921	1.1292
	A5	0.4998	0.8633	0.9329
PISO 10	A1	0.5326	0.8633	0.9288
	A2	0.5929	1.0280	1.1421
	A3	0.4958	0.7870	0.8248
	A4	0.6235	1.1084	1.2451
	A5	0.5526	0.9605	1.0407
PISO 11	A1	0.6046	0.9533	1.0261
	A2	0.5867	1.0473	1.1758
	A3	0.5535	0.8969	0.8912
	A4	0.7765	1.3112	1.4588
	A5	0.6136	1.0528	1.1642
PISO 12	A1	0.7745	1.1164	1.1624
	A2	0.7460	1.1664	1.2818
	A3	0.6979	1.0351	0.9601
	A4	0.9607	1.5278	1.6674
	A5	0.7979	1.1936	1.2950

Tabla 4.7 Máximas Aceleraciones por piso del modelo TM12.

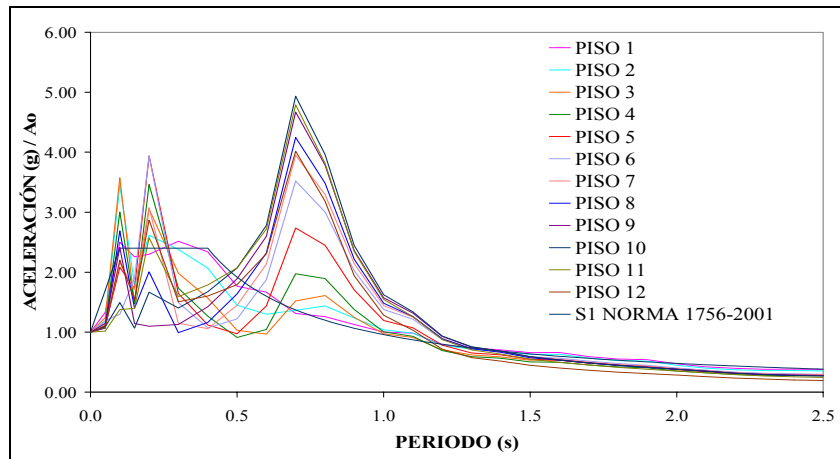


Fig. 4.40 Promed. de los espectros normalizado por piso para TM12S1, $\xi = 0.05$.

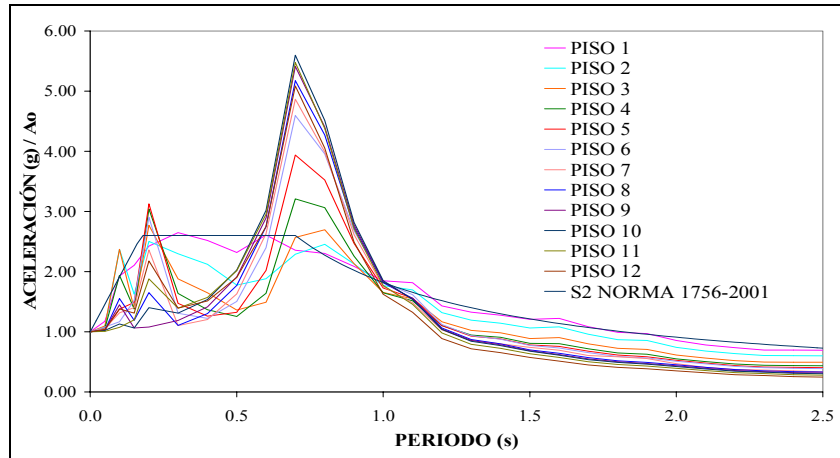


Fig. 4.41 Promed. de los espectros normalizado por piso para TM12S2, $\xi = 0.05$.

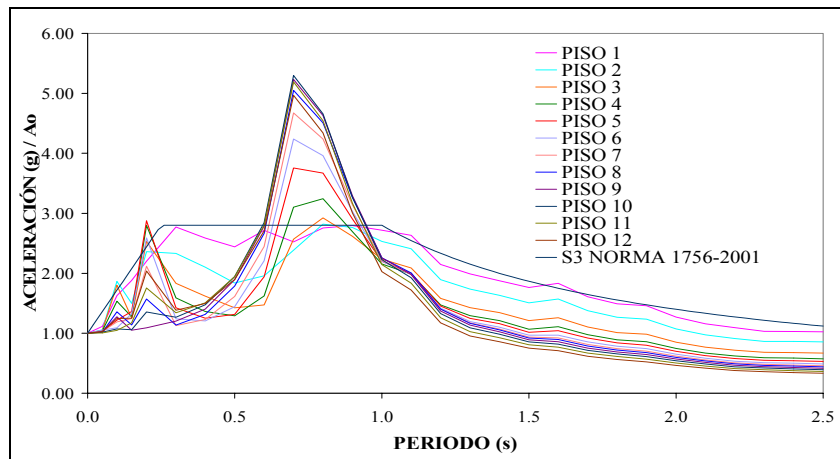


Fig. 4.42 Promed. de los espectros normalizado por piso para TM12S3, $\xi = 0.05$.

Posteriormente se siguieron los mismos pasos descritos anteriormente pero utilizando ahora un amortiguamiento respecto al crítico de 0.02. A continuación se presentan los espectros normalizado de piso de cada uno de los modelos para las formas espectrales S1, S2 y S3.

4.7.- Resultados Modelo TP2, $\xi = 0.02$.

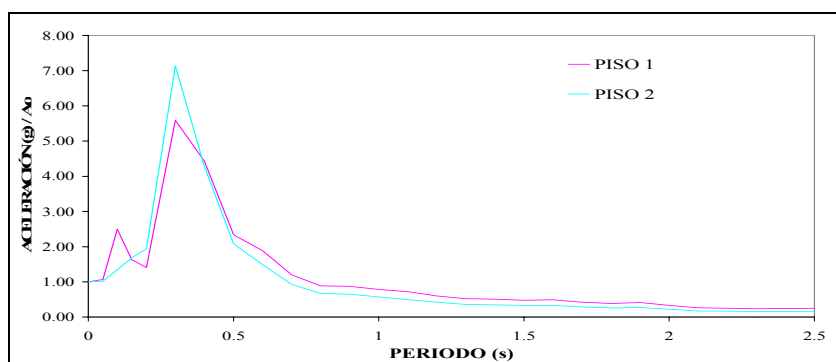


Fig. 4.43 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP2S1, $\xi = 0.02$.

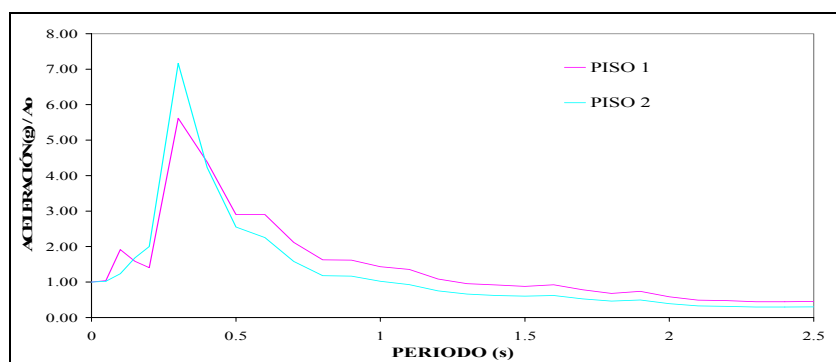


Fig. 4.44 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP2S2, $\xi = 0.02$.

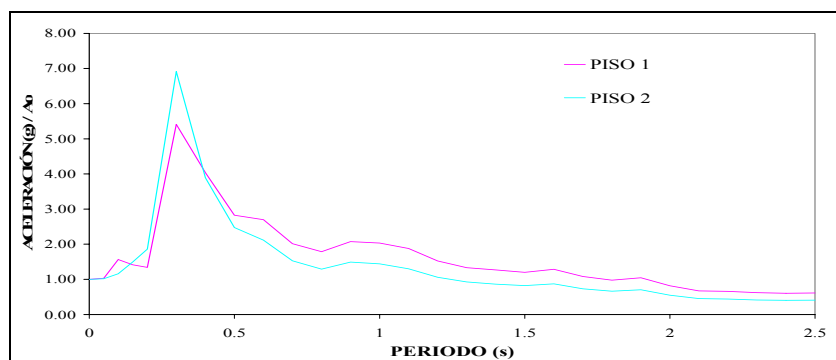


Fig. 4.45 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP2S3, $\xi = 0.02$.

4.8.- Resultados Modelo TP4, $\xi = 0.02$.

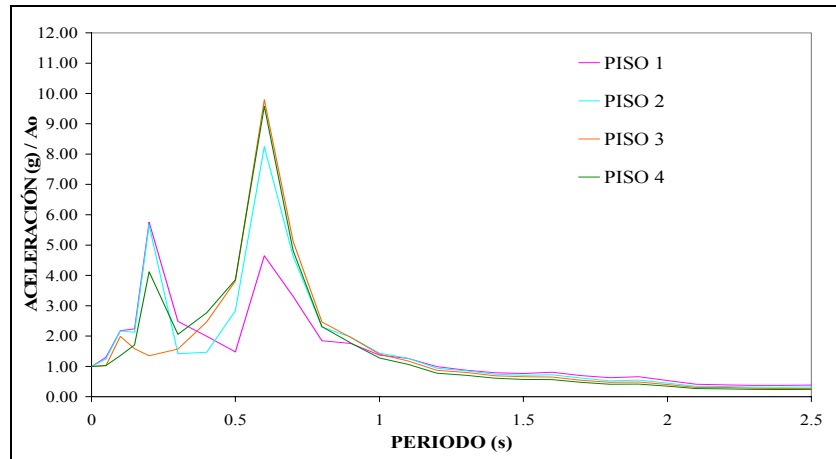


Fig. 4.46 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP4S1, $\xi = 0.02$.

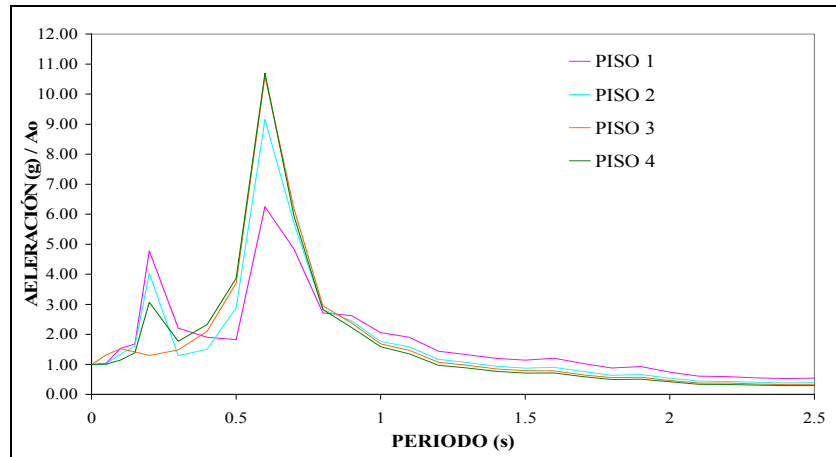


Fig. 4.47 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP4S2, $\xi = 0.02$.

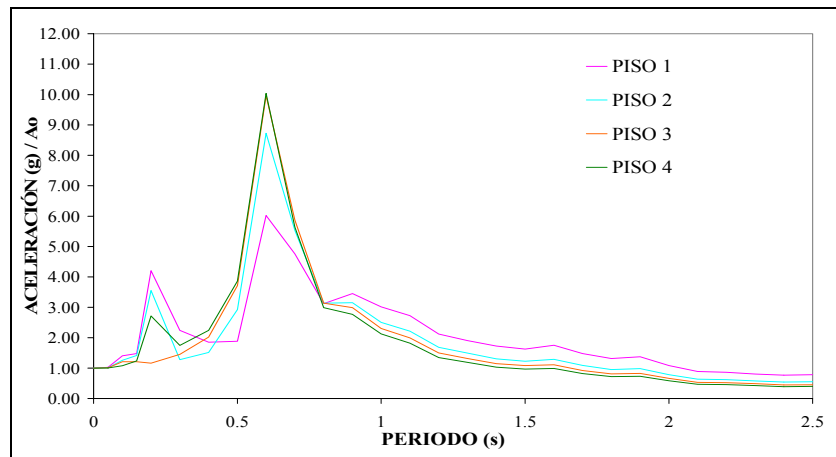


Fig. 4.48 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP4S3, $\xi = 0.02$.

4.9.- Resultados Modelo TP10, $\xi = 0.02$.

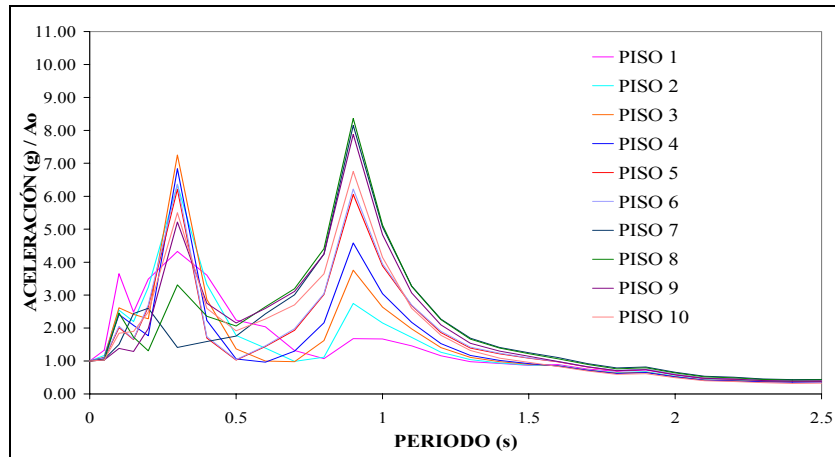


Fig. 4.49 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP10S1, $\xi = 0.02$.

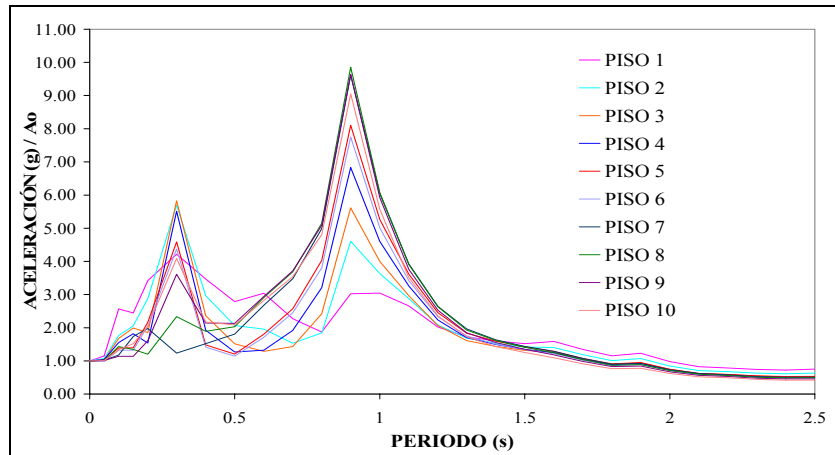


Fig. 4.50 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP10S2, $\xi = 0.02$.

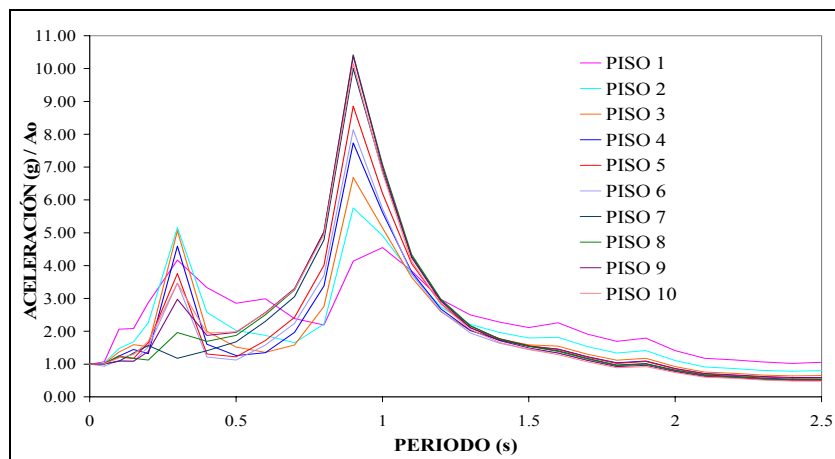


Fig. 4.51 Promedio de los espectros normalizado por piso para TP10S3, $\xi = 0.02$.

4.10.- Resultados Modelo TM2, $\xi = 0.02$.

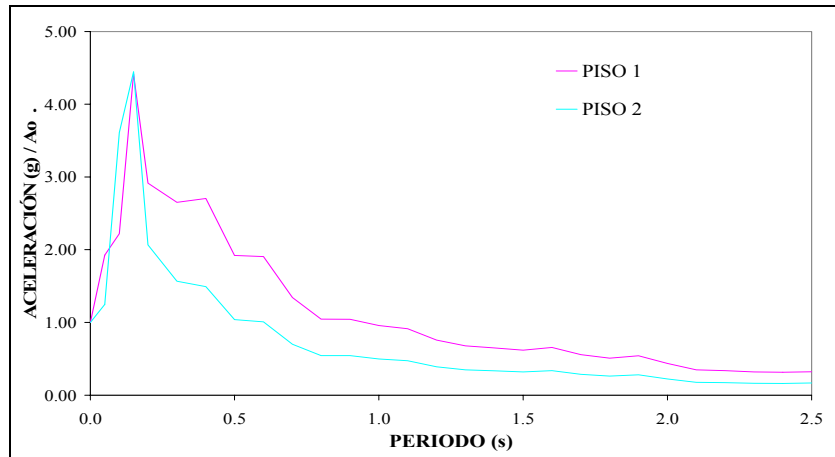


Fig. 4.52 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM2S1, $\xi = 0.02$.

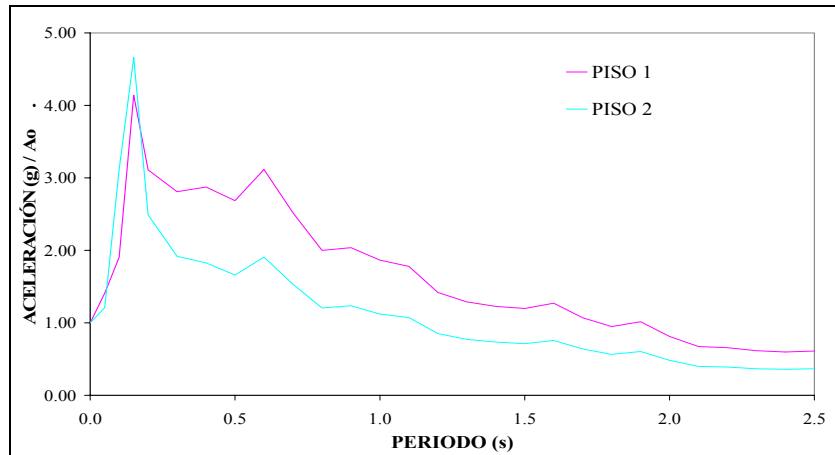


Fig. 4.53 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM2S2, $\xi = 0.02$.

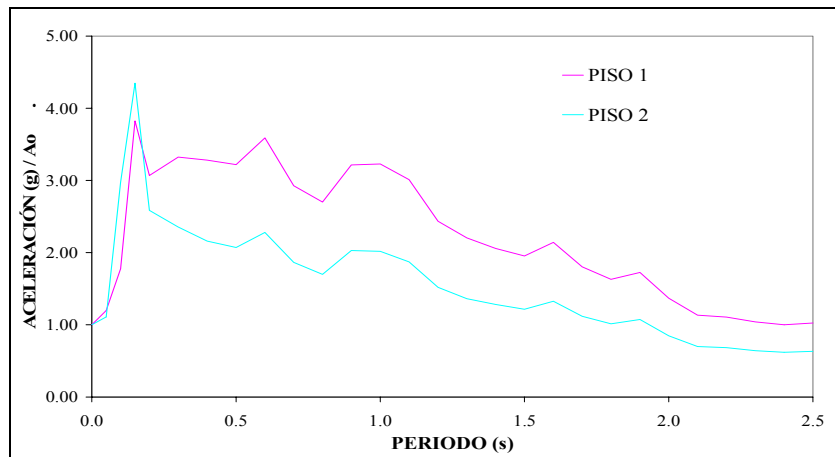


Fig. 4.54 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM2S3, $\xi = 0.02$.

4.11.- Resultados Modelo TM4, $\xi = 0.02$.

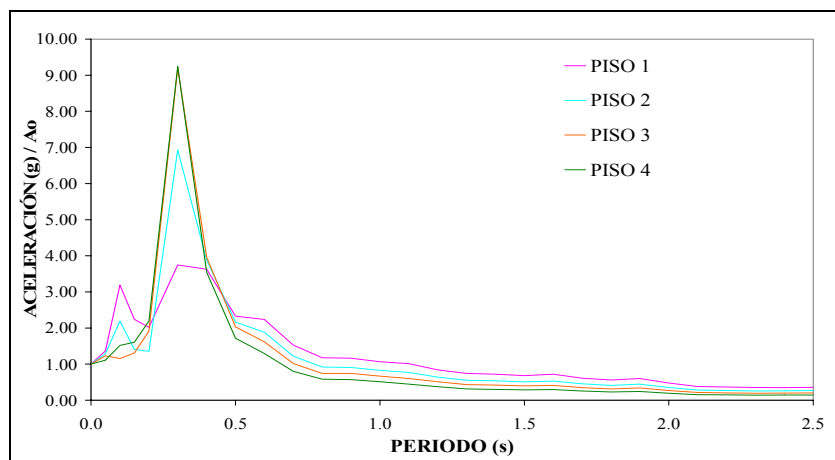


Fig. 4.55 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM4S1, $\xi = 0.02$.

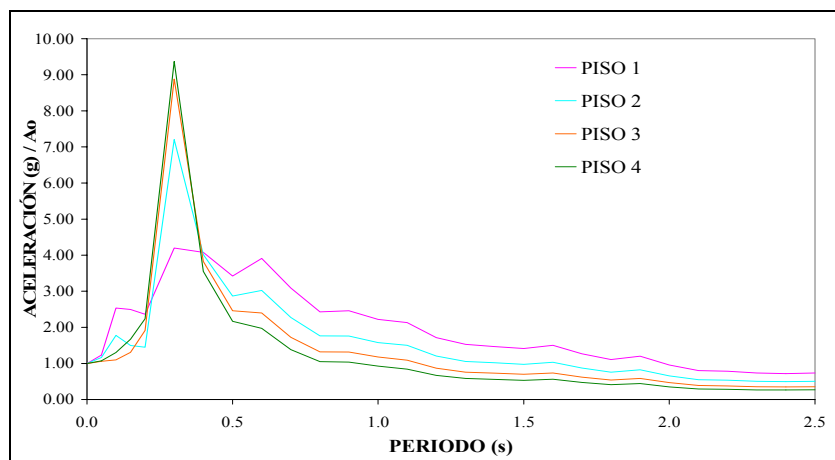


Fig. 4.56 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM4S2, $\xi = 0.02$.

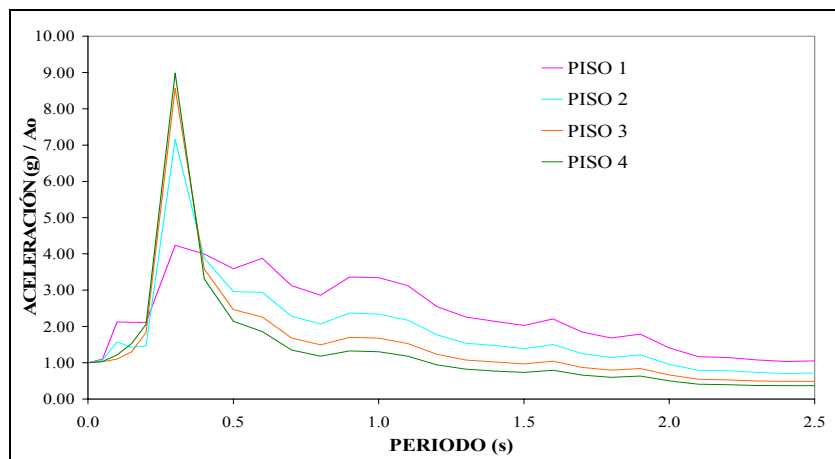


Fig. 4.57 Promedio de los espectros normalizado por piso para TM4S3, $\xi = 0.02$.

4.12.- Resultados Modelo TM12, $\xi = 0.02$.

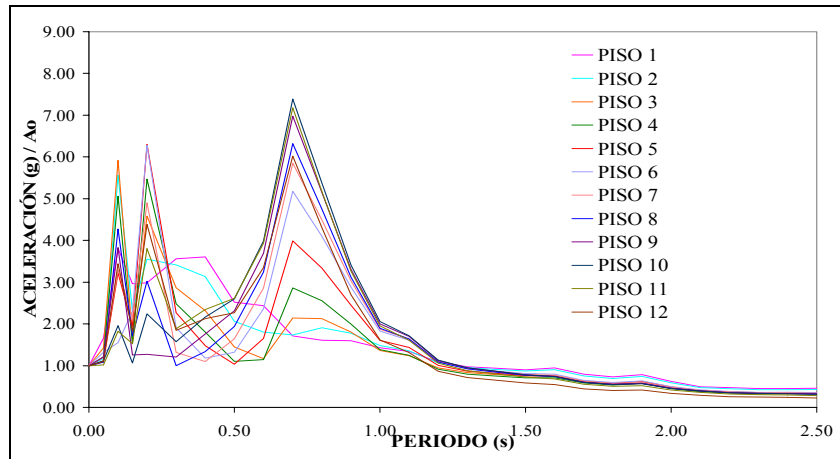


Fig. 4.58 Promed. de los espectros normalizado por piso para TM12S1, $\xi = 0.02$.

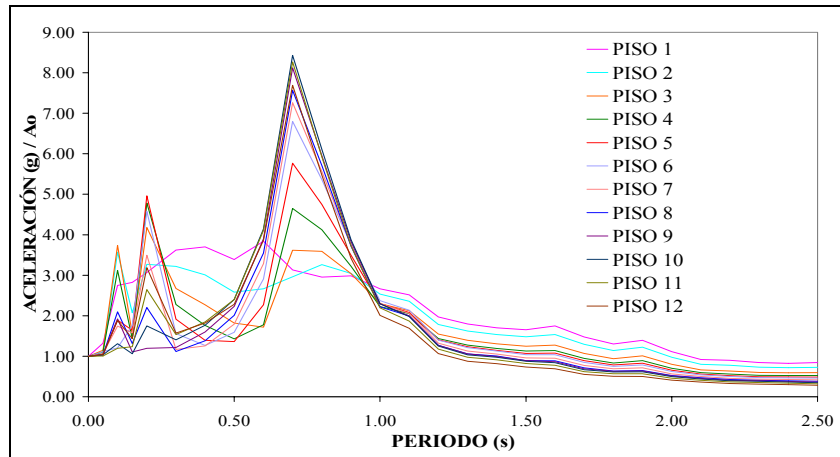


Fig. 4.59 Promed. de los espectros normalizado por piso para TM12S2, $\xi = 0.02$.

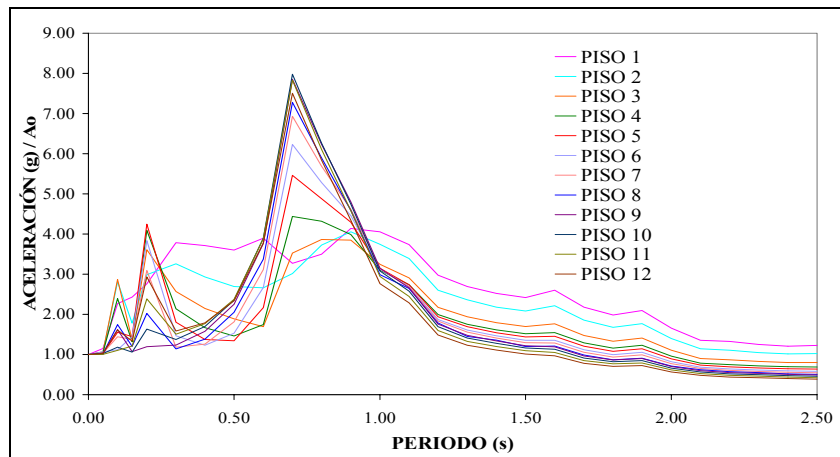


Fig. 4.60 Promed. de los espectros normalizado por piso para TM12S3, $\xi = 0.02$.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados que se presenta a continuación se concentró concretamente en cuatro apartes, siendo estos el análisis de los espectros normalizados, comparación entre amortiguamientos, evaluación de las amplitudes máximas y comparación de las amplitudes máximas con el valor de C_p de la Norma 1756-98 (Rev. 2001).

5.1.- Análisis de los Espectros Normalizados

Un primer análisis de resultados consistió en evaluar los espectros de piso normalizados de todos los modelos independientemente del amortiguamiento utilizado. En las figuras 4.25 a la 4.57 para todos los modelos se evidencia que los espectros normalizado de piso están influenciados por las propiedades dinámicas de cada estructura (periodos naturales, masa, rigidez, etc...), debido a que los periodos donde ocurren las máximas amplitudes (picos) coinciden aproximadamente con los periodos de vibración natural de la estructura. En este sentido, la cantidad de picos

indica el número de modos de vibración que están participando en el análisis. En cada modelo y para todas las formas espectrales se visualizan distintos números de modos de vibración y esto se relacionó con el porcentaje de participación de masa acumulada, para el modelo TP2 se observa un modo de vibración con 91.90% de masa participativa acumulada, modelo TP4 dos modos de vibración con 96.10%, modelo TP10 dos modos de vibración con 92.40%, modelo TM2 un modo de vibración con 83.30%, modelo TM4 dos modos de vibración con 93.10% y para el modelo TM12 tres modos de vibración con 91.90%. Se pudo constatar que se visualizan aquellos modos de vibración hasta donde se acumula un mínimo del 90% de masa participativa acumulada, a excepción del modelo TM2 donde se ve un solo modo con una masa participativa acumulada del 83.30%.

En las mismas figuras, para las distintas formas espectrales los valores máximos de amplificación aumentan correlativamente de piso a piso. Caso particular sucedió en los modelos de TP10 y TM12 donde la aceleración en los últimos 2 pisos decrece con respecto a la del piso anterior.

En las figuras 4.25 a 4.42 se comparó los espectros normalizado de piso generados para un amortiguamiento del 0.05 respecto al crítico con los espectros tipificados de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) para cada una de las formas espectrales, notándose que los espectros normalizado de piso al igual que el de la norma poseen una rama ascendente para periodos cortos y una descendente para periodos largos y la principal diferencia entre ambos se encuentra en la zona donde

ocurren las amplificaciones máximas ya que en los espectros normalizado de piso no se distingue la rama plana que posee el espectro de la Norma. En definitiva, los espectros normalizado de piso poseen tres zonas bien definidas una rama ascendente, una rama descendente y una zona de amplitudes máximas. Esta misma conducta se evidencia en los espectros con amortiguamiento de 0.02.

En todos los espectros normalizados se pudo constatar que los valores de amplificación correspondiente a los periodos de la rama descendente del espectro tipificado de la Norma resultan conservadores, notándose que estos valores disminuyen correlativamente de S1 a S3, excepto los casos en donde los valores máximos de amplificación se encuentran en dicha rama.

5.2.- Comparación entre los Amortiguamientos

Para realizar una comparación entre los espectros normalizado de piso con factores de amortiguamientos respecto al crítico de 0.05 y 0.02 y observar el comportamiento entre ellos, a continuación se presentan en las figuras 5.1 a 5.102, los espectros normalizado por piso de todos los modelos para cada una de las formas espectrales.

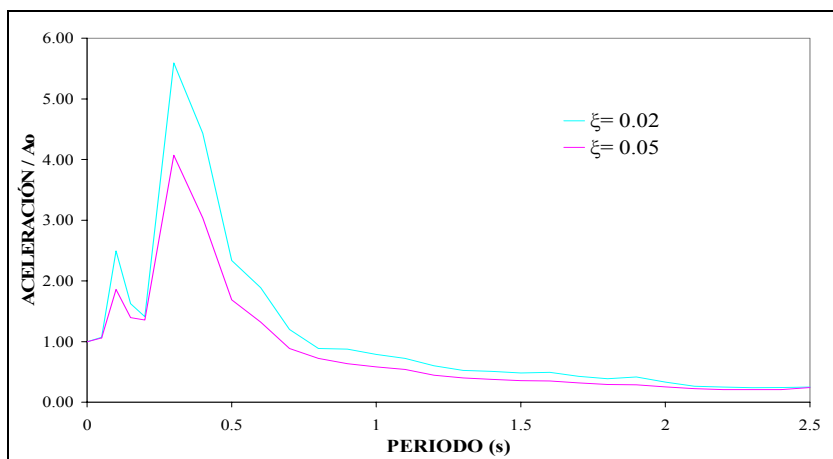


Fig. 5.1 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP2S1.

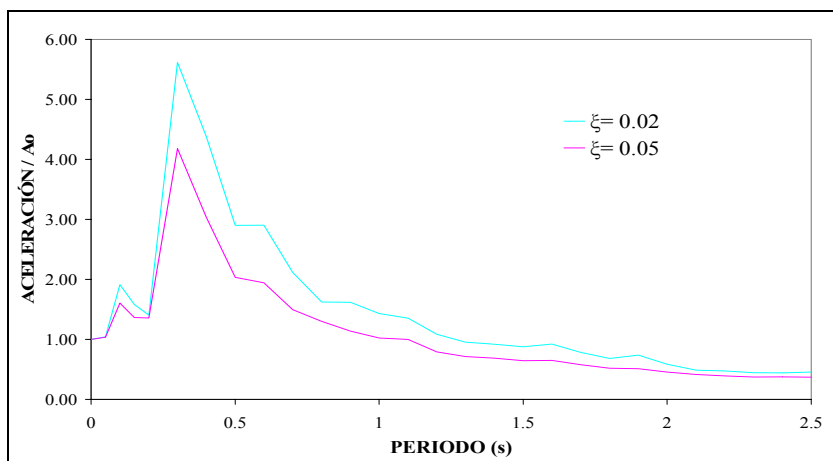


Fig. 5.2 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP2S2.

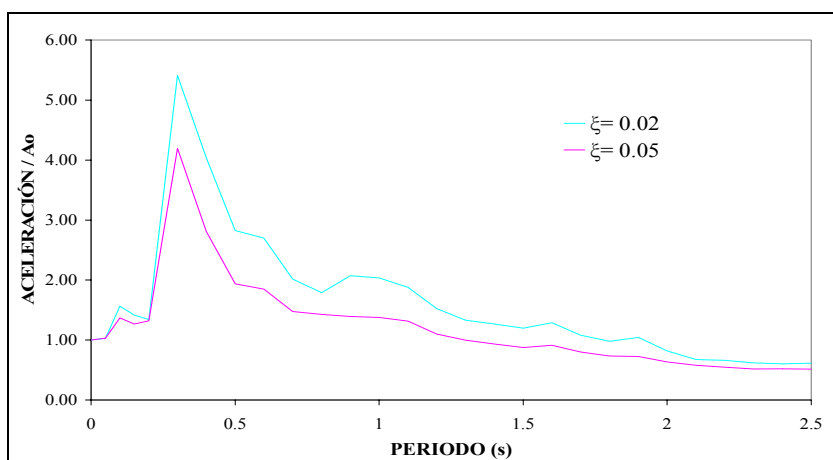


Fig. 5.3 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP2S3.

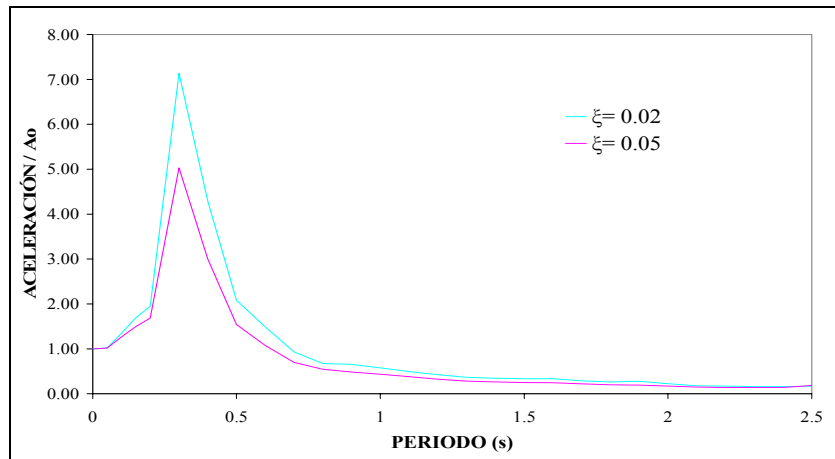


Fig. 5.4 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP2S1.

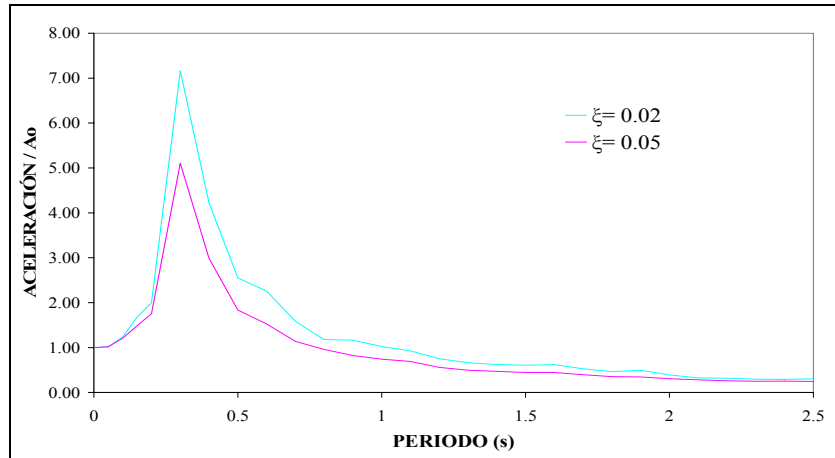


Fig. 5.5 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP2S2.

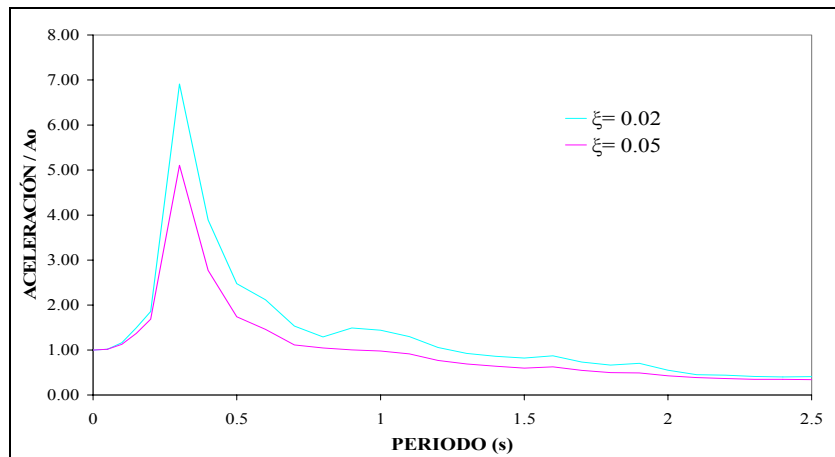


Fig. 5.6 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP2S3.

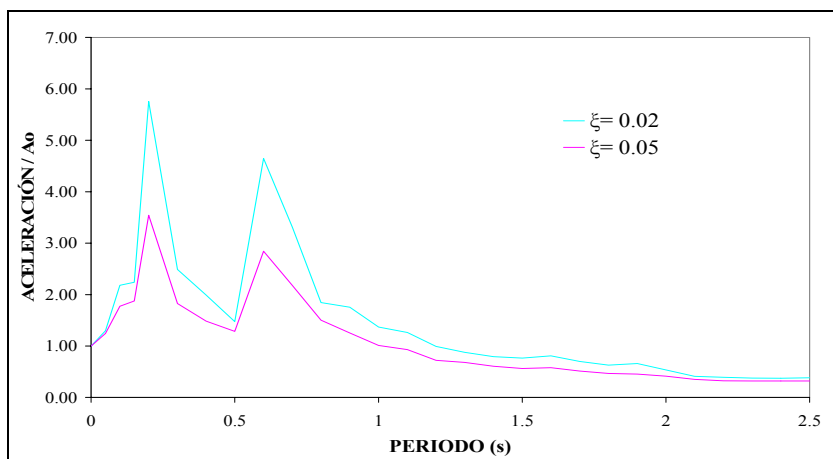


Fig. 5.7 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP4S1.

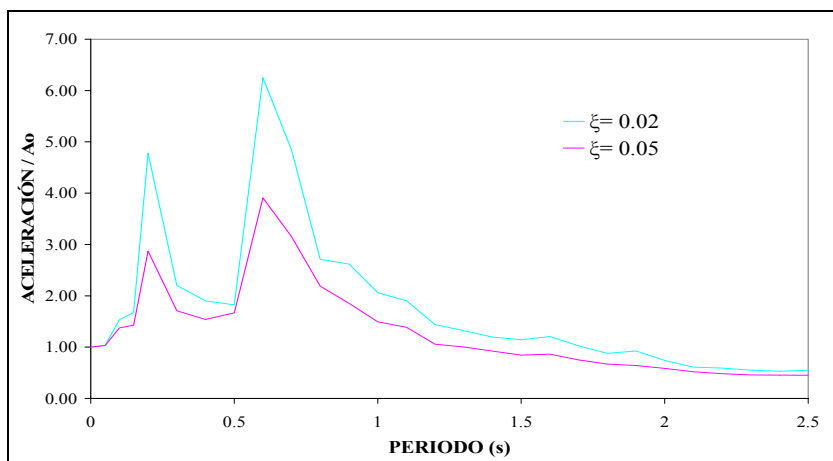


Fig. 5.8 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP4S2.

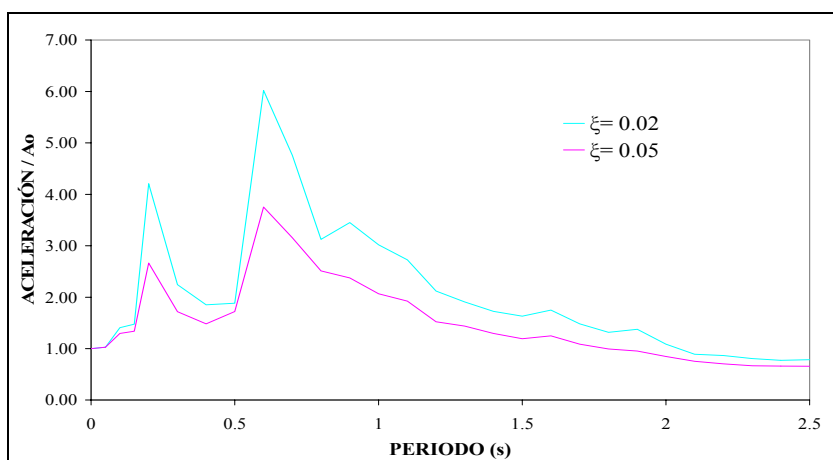


Fig. 5.9 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP4S3.

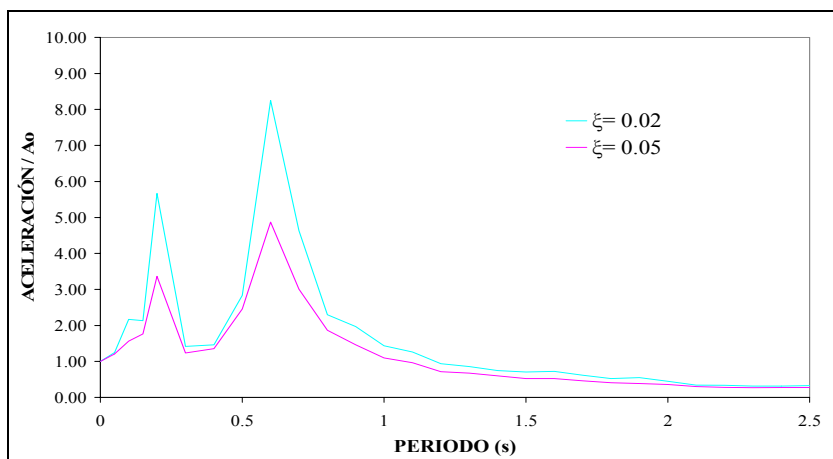


Fig. 5.10 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP4S1.

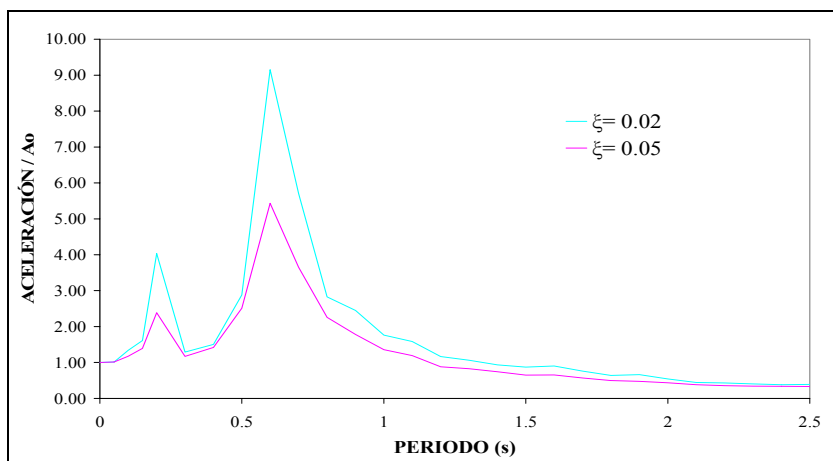


Fig. 5.11 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP4S2.

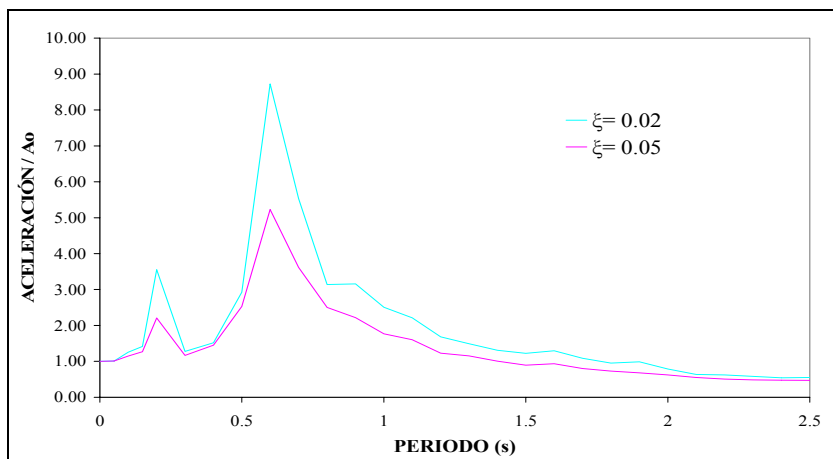


Fig. 5.12 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP4S3.

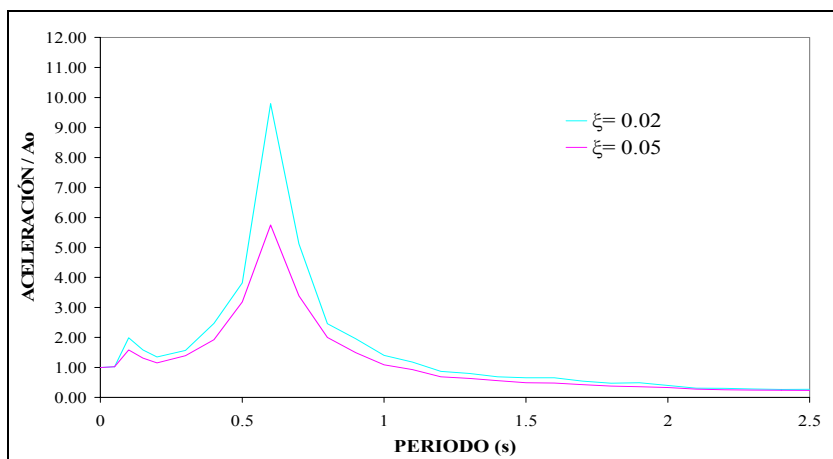


Fig. 5.13 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP4S1.

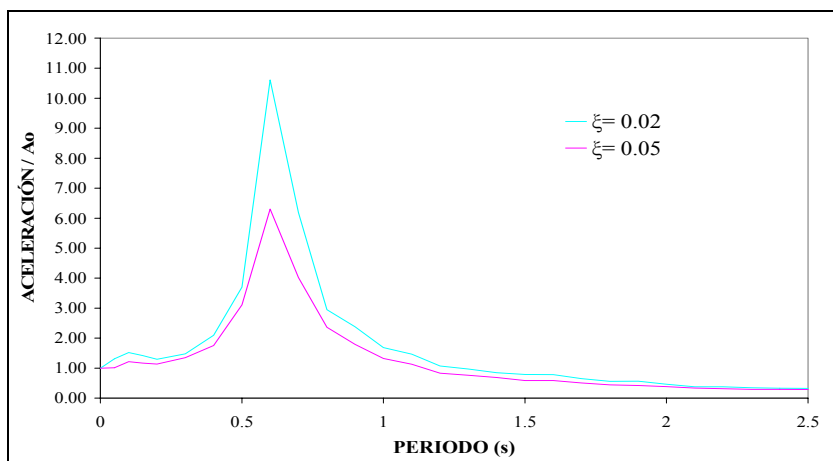


Fig. 5.14 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP4S2.

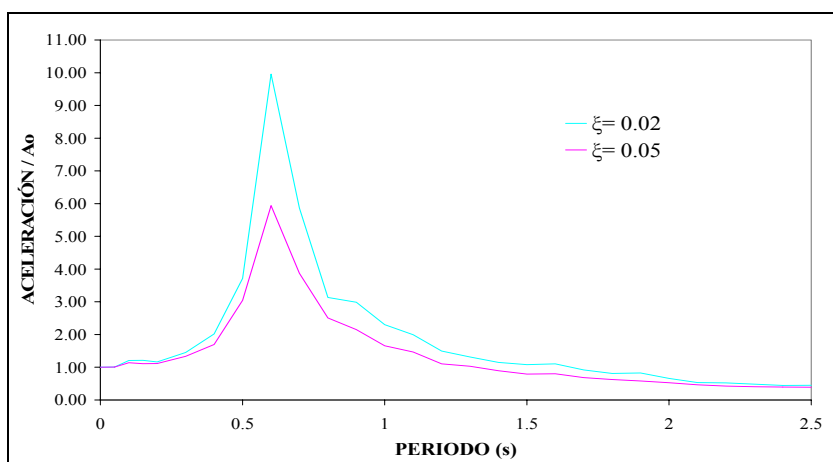


Fig. 5.15 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP4S3.

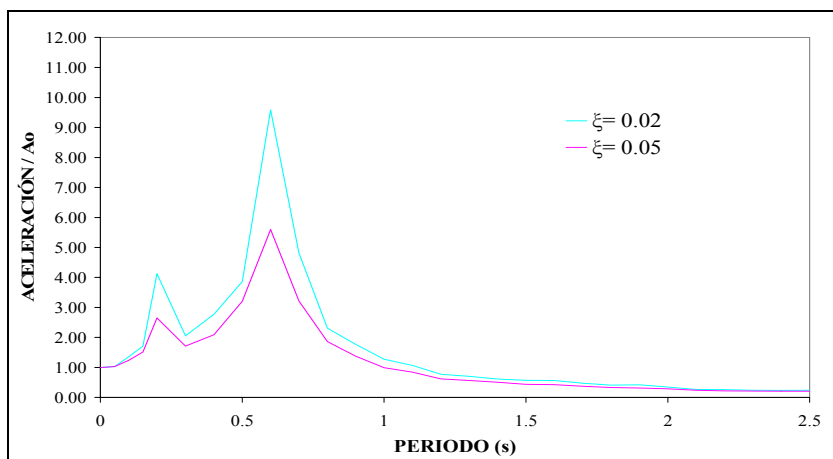


Fig. 5.16 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP4S1.

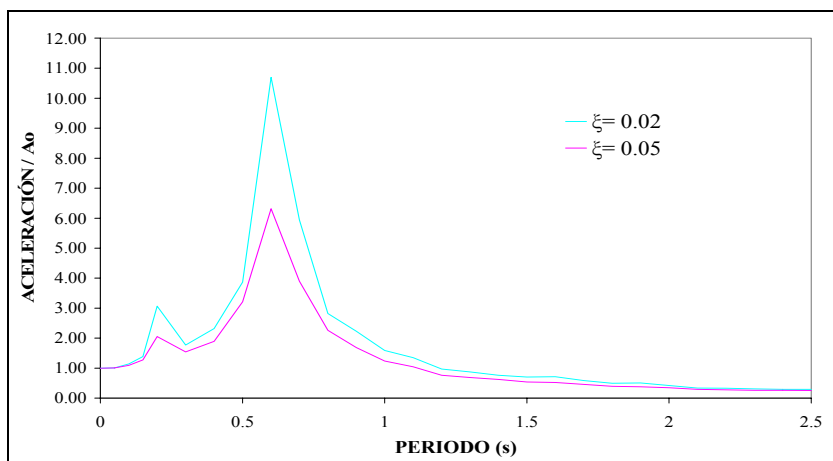


Fig. 5.17 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP4S2.

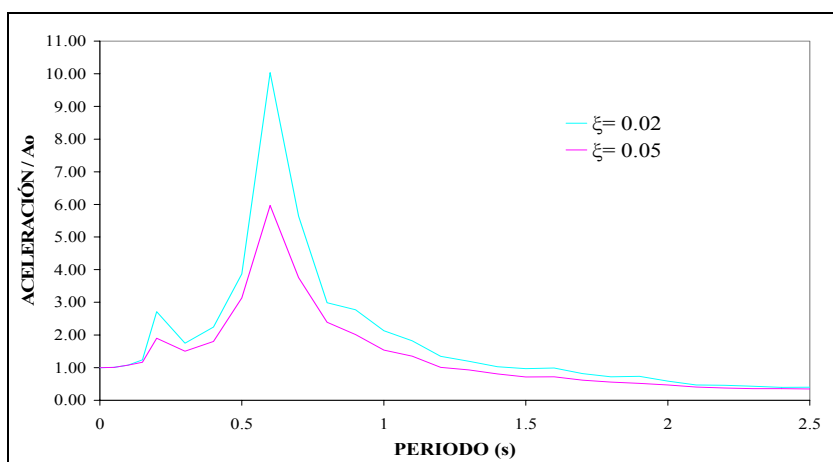


Fig. 5.18 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP4S3.

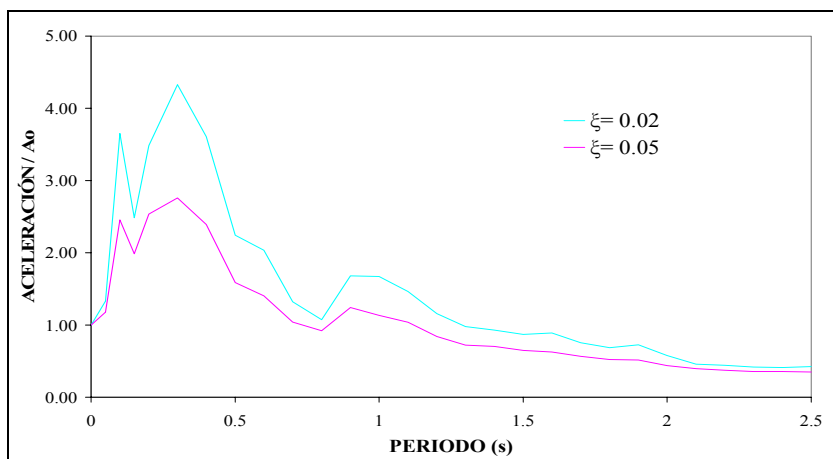


Fig. 5.19 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP10S1.

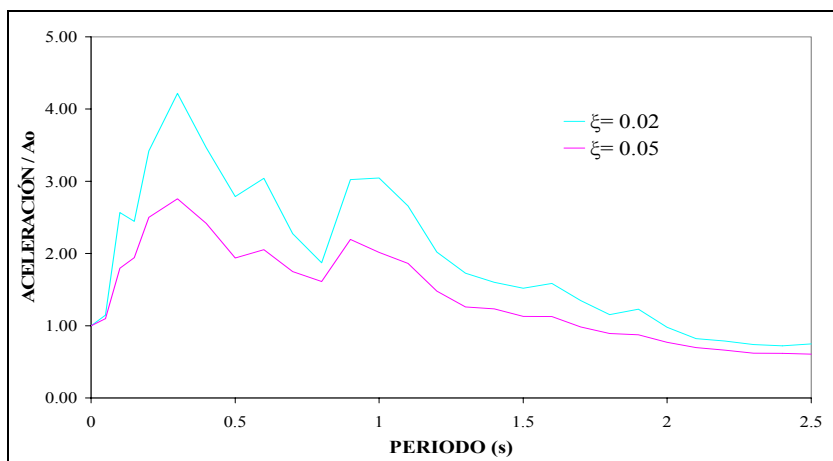


Fig. 5.20 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP10S2.

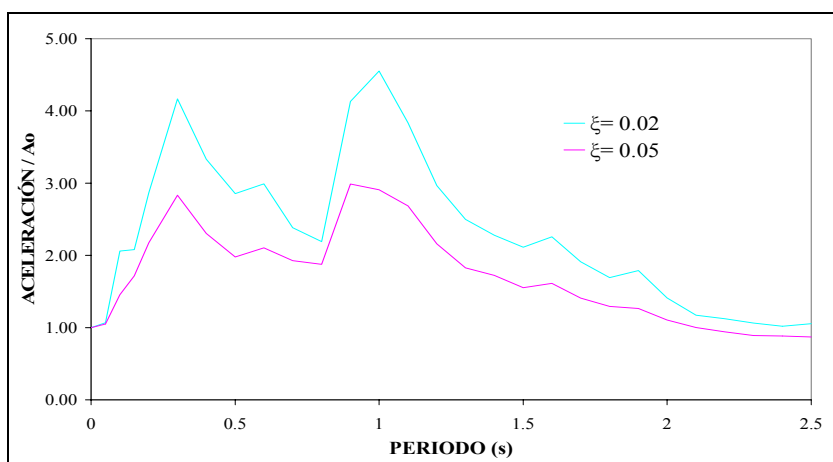


Fig. 5.21 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TP10S3.

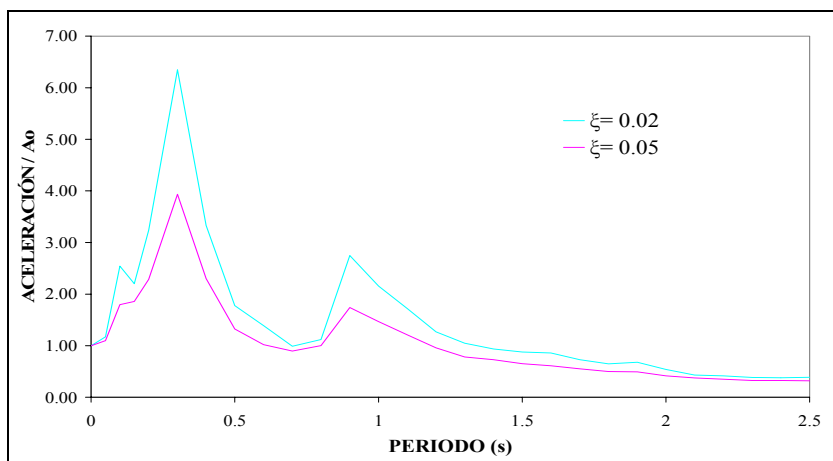


Fig. 5.22 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP10S1.

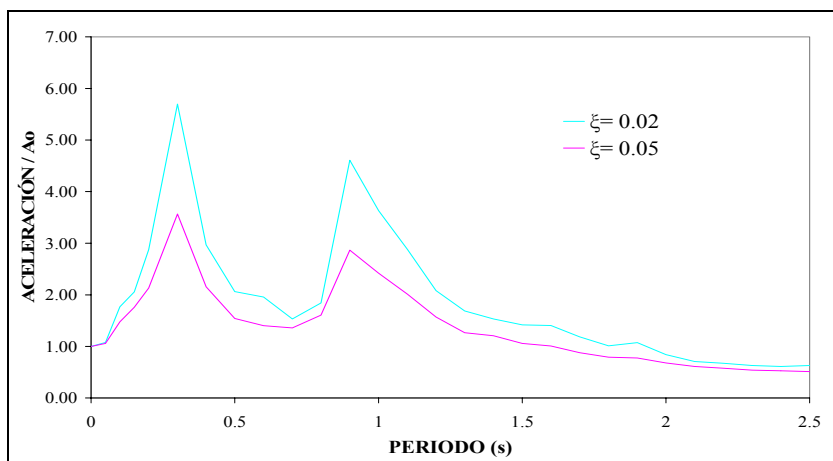


Fig. 5.23 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP10S2.

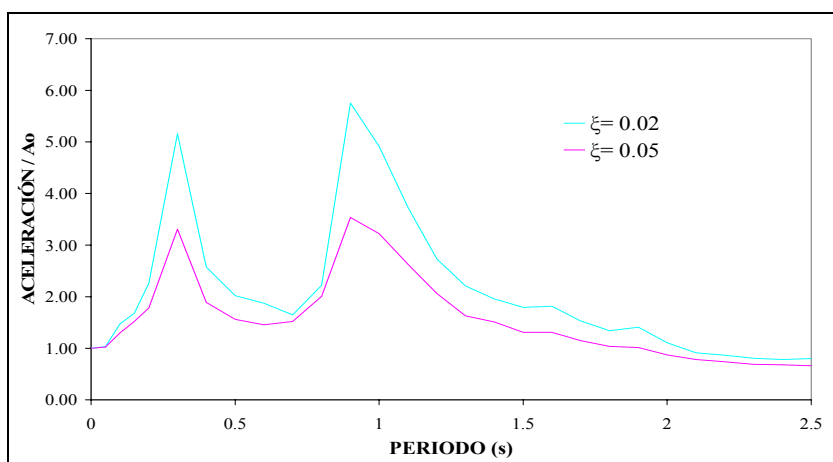


Fig. 5.24 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TP10S3.

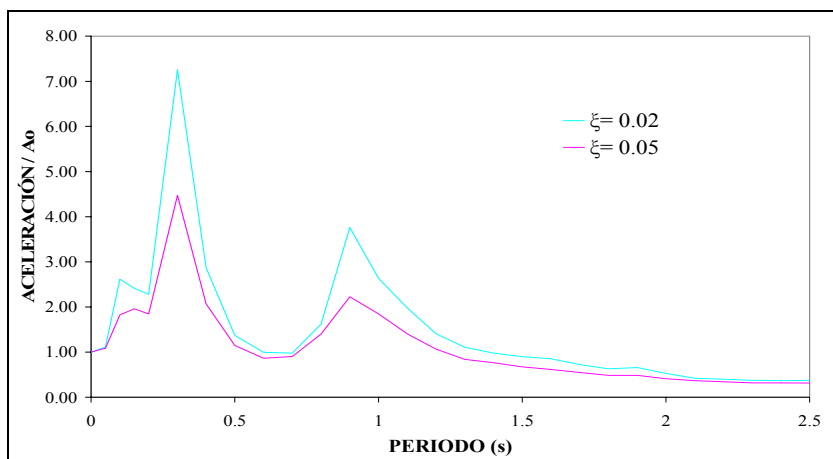


Fig. 5.25 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP10S1.

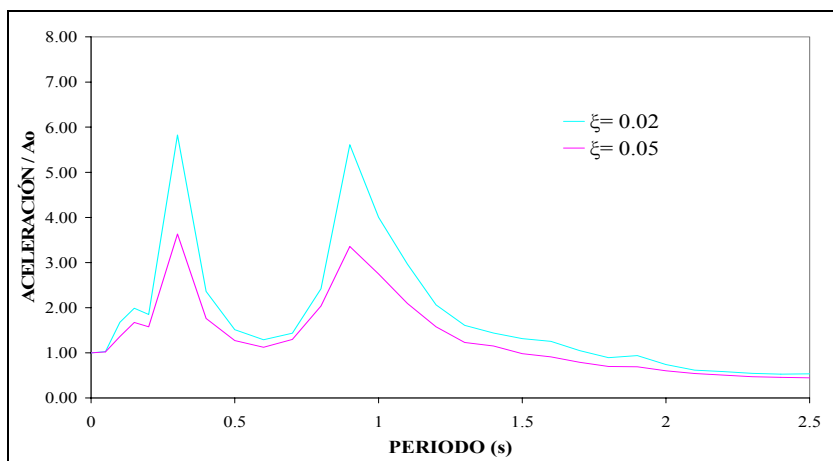


Fig. 5.26 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP10S2.

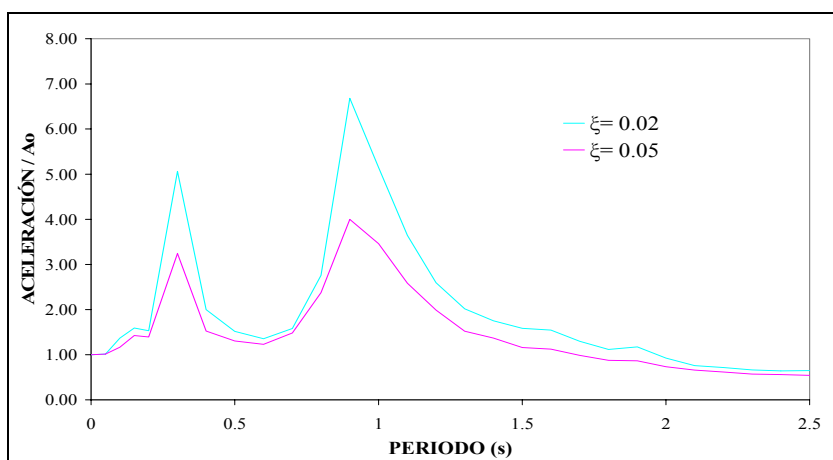


Fig. 5.27 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TP10S3.

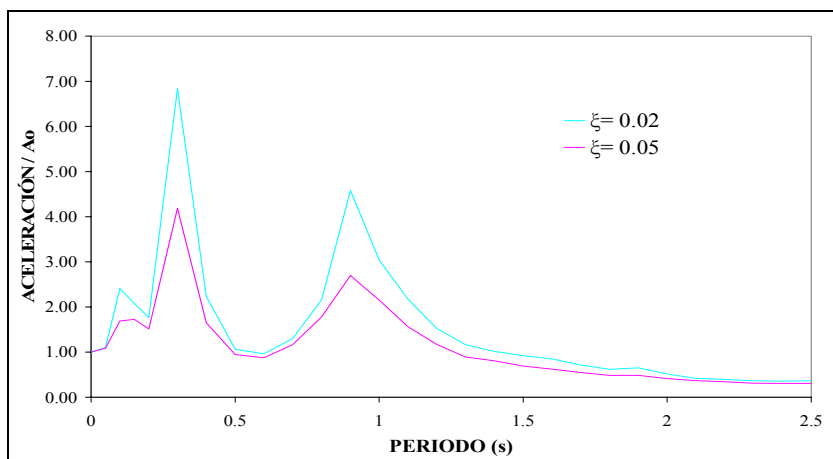


Fig. 5.28 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP10S1.

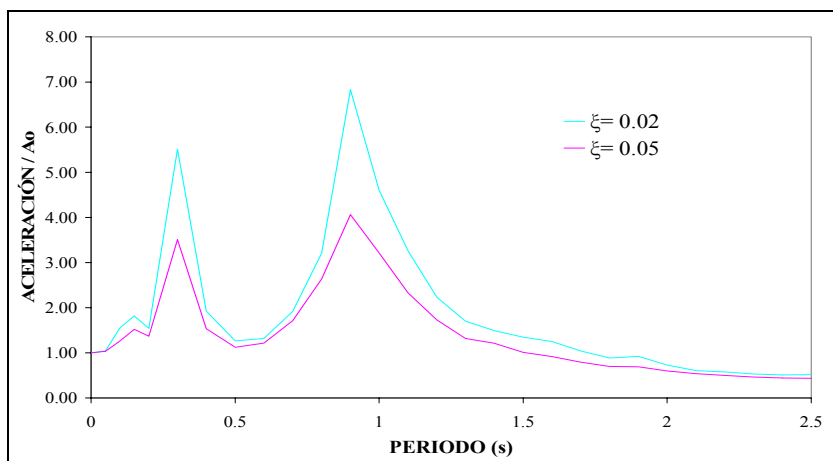


Fig. 5.29 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP10S2.

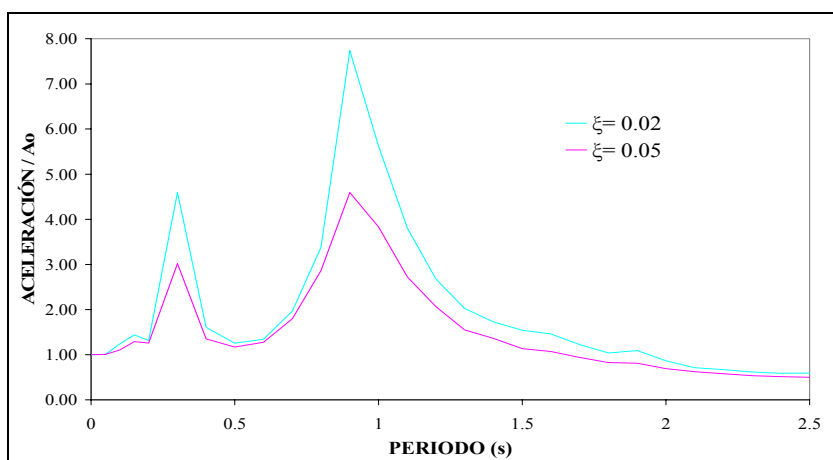


Fig. 5.30 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TP10S3.

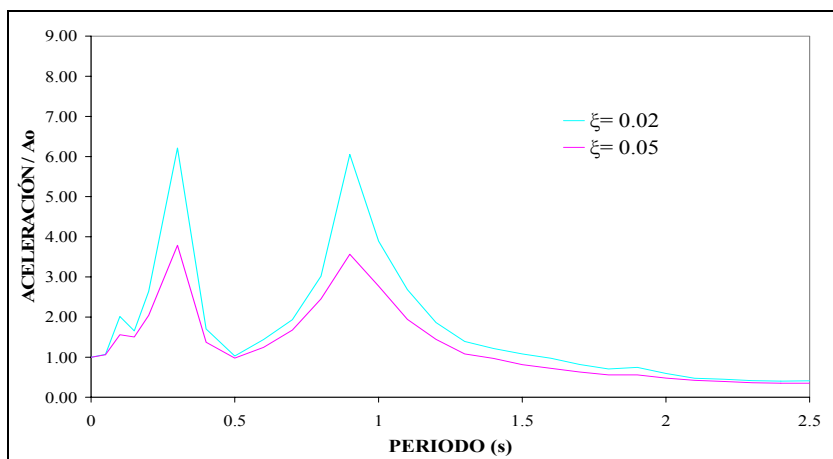


Fig. 5.31 Espectros normalizados del piso 5 del modelo TP10S1.

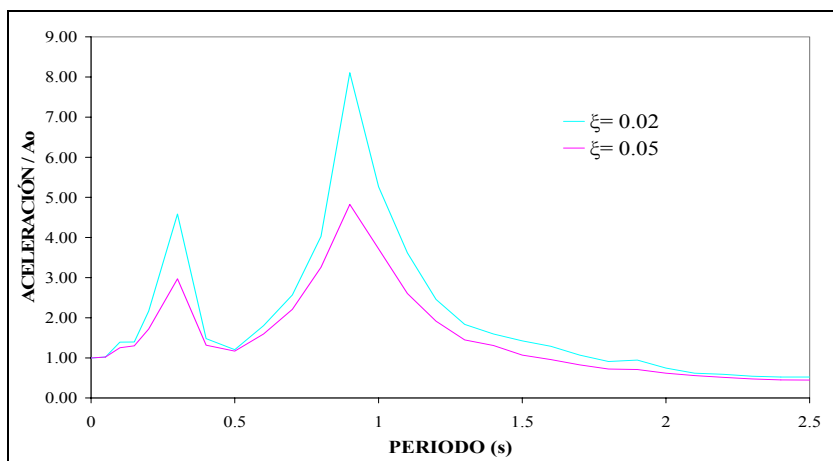


Fig. 5.32 Espectros normalizados del piso 5 del modelo TP10S2.

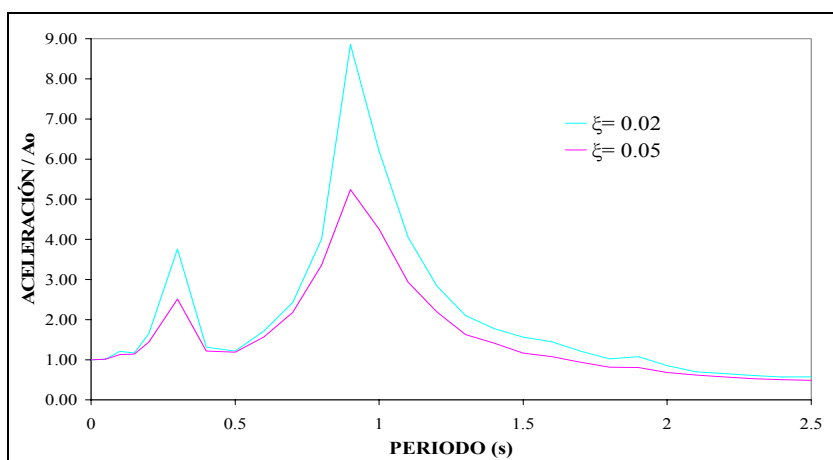


Fig. 5.33 Espectros normalizados del piso 5 del modelo TP10S3.

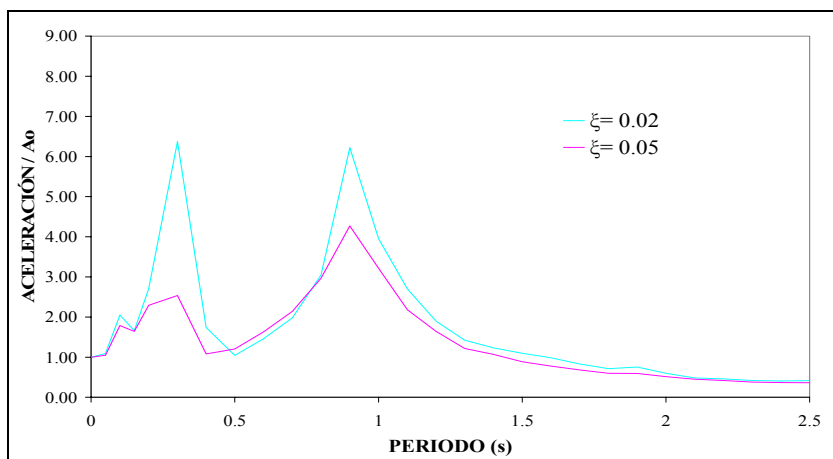


Fig. 5.34 Espectros normalizados del piso 6 del modelo TP10S1.

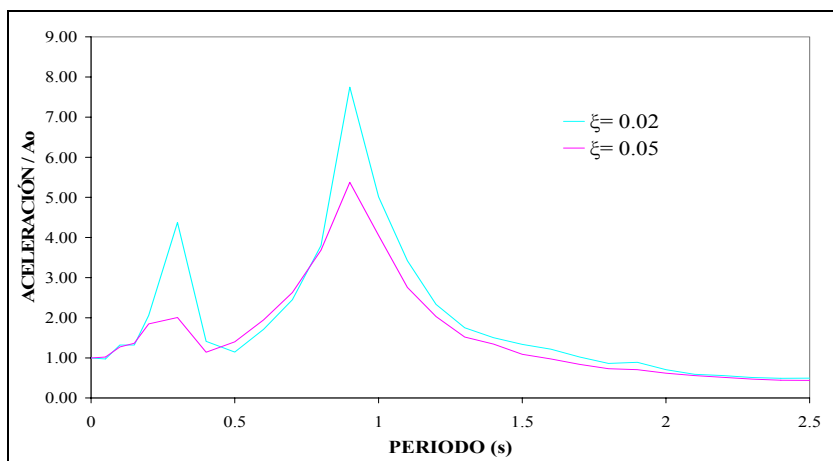


Fig. 5.35 Espectros normalizados del piso 6 del modelo TP10S2.

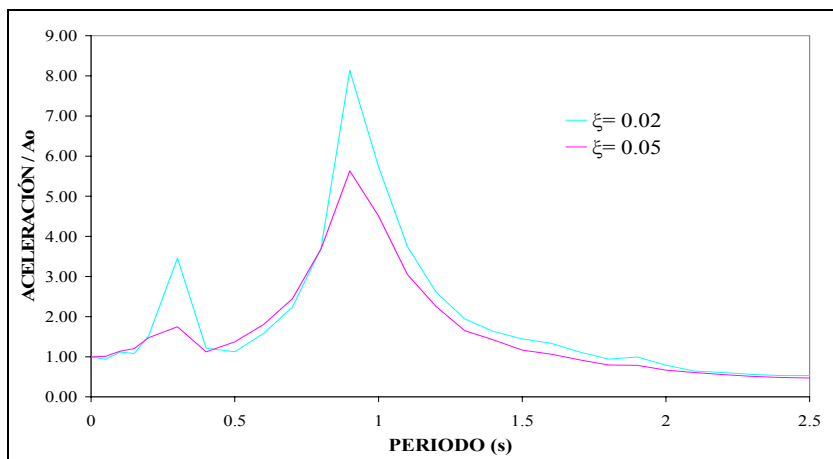


Fig. 5.36 Espectros normalizados del piso 6 del modelo TP10S3.

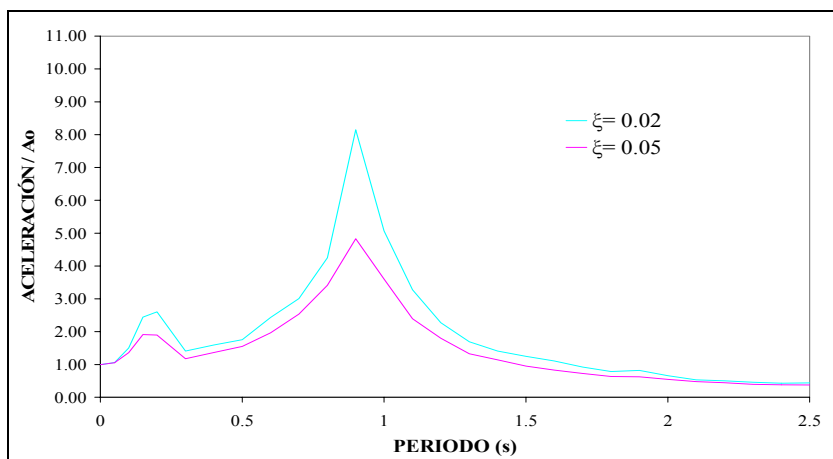


Fig. 5.37 Espectros normalizados del piso 7 del modelo TP10S1.

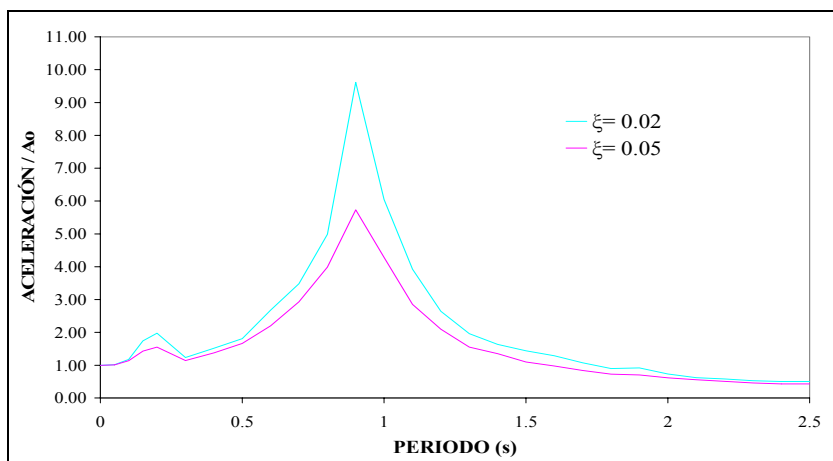


Fig. 5.38 Espectros normalizados del piso 7 del modelo TP10S2.

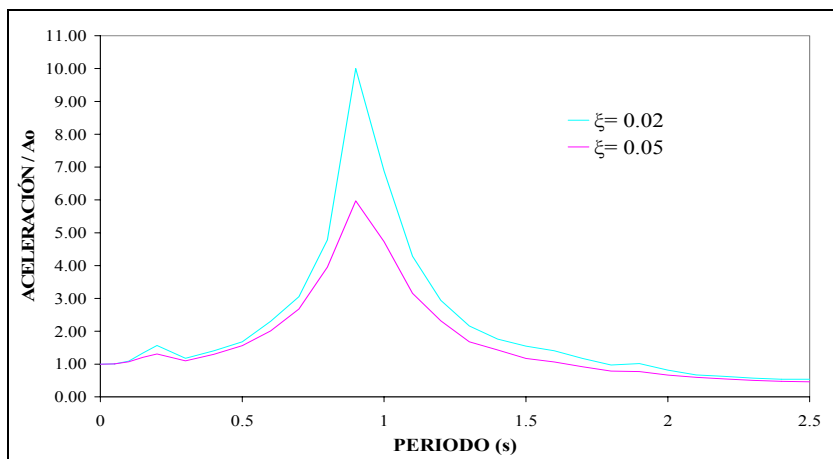


Fig. 5.39 Espectros normalizados del piso 7 del modelo TP10S3.

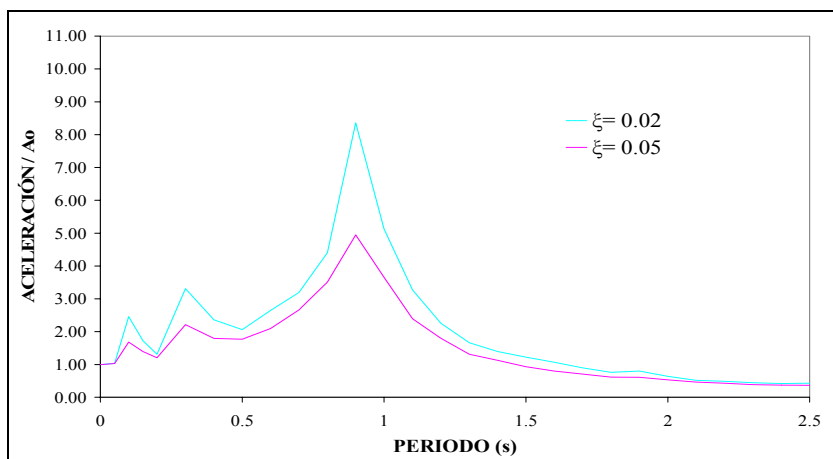


Fig. 5.40 Espectros normalizados del piso 8 del modelo TP10S1.

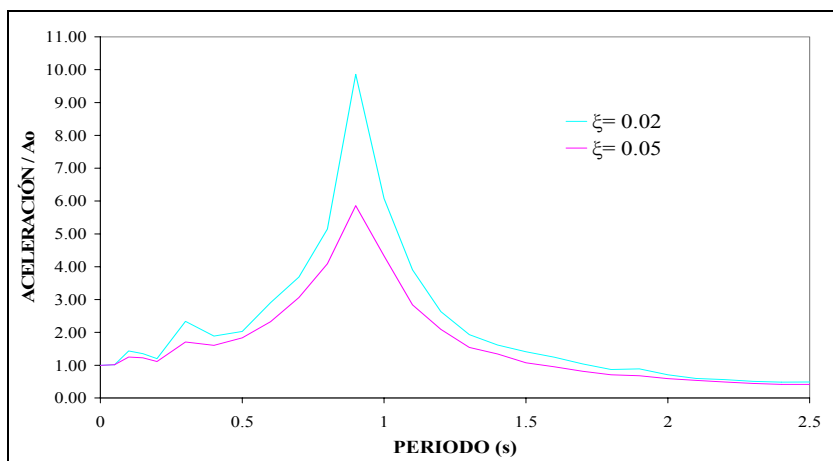


Fig. 5.41 Espectros normalizados del piso 8 del modelo TP10S2.

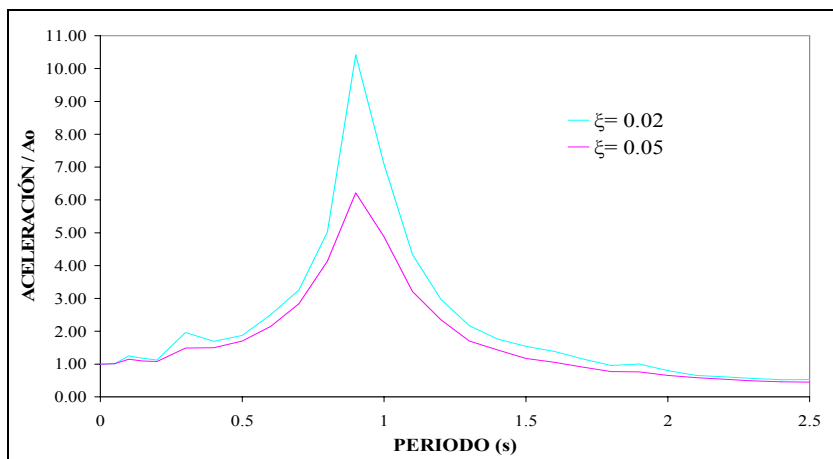


Fig. 5.42 Espectros normalizados del piso 8 del modelo TP10S3.

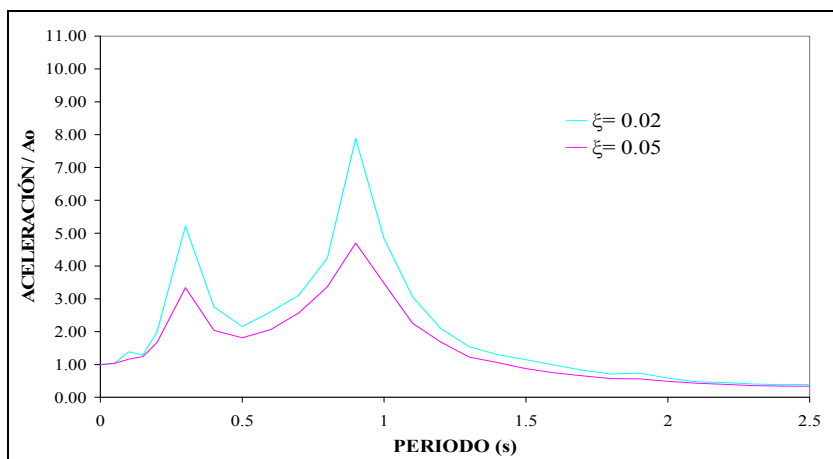


Fig. 5.43 Espectros normalizados del piso 9 del modelo TP10S1.

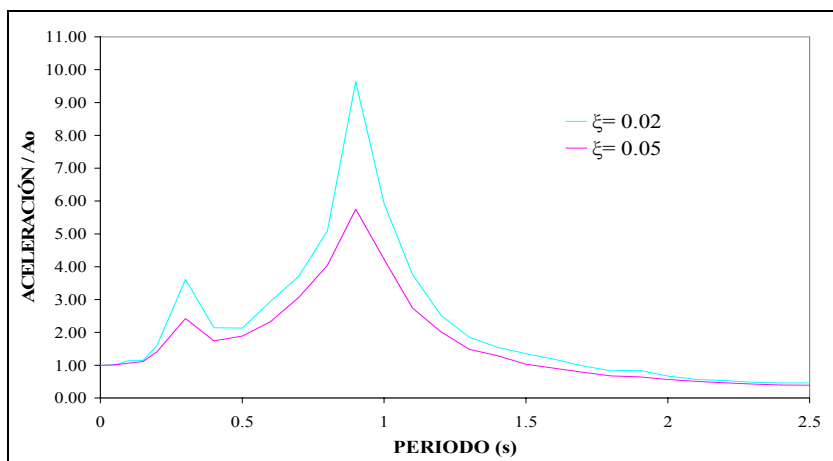


Fig. 5.44 Espectros normalizados del piso 9 del modelo TP10S2.

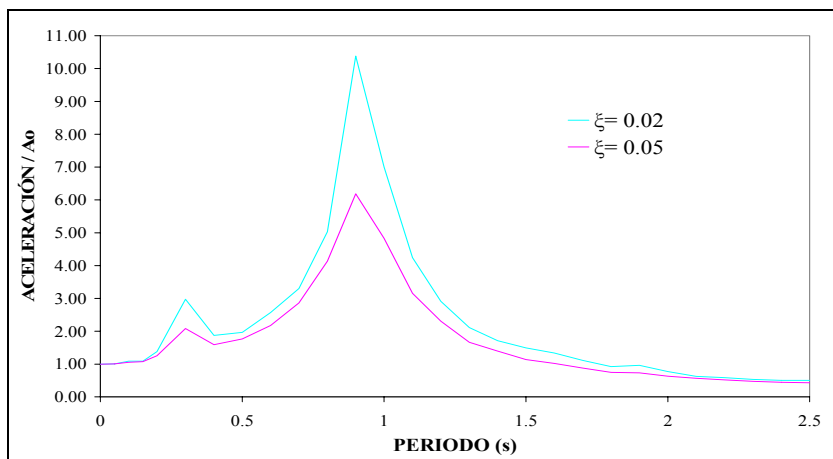


Fig. 5.45 Espectros normalizados del piso 9 del modelo TP10S3.

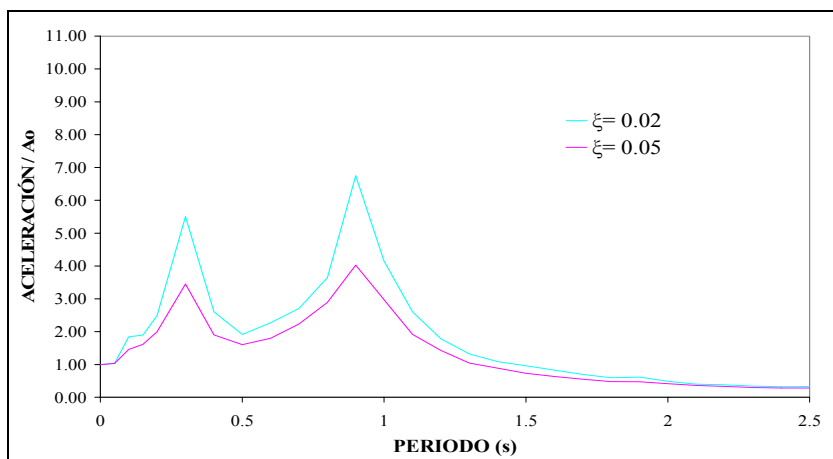


Fig. 5.46 Espectros normalizados del piso 10 del modelo TP10S1.

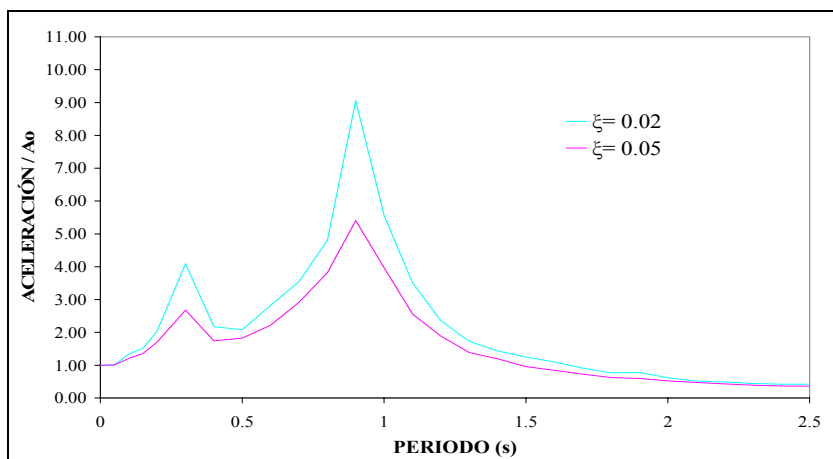


Fig. 5.47 Espectros normalizados del piso 10 del modelo TP10S2.

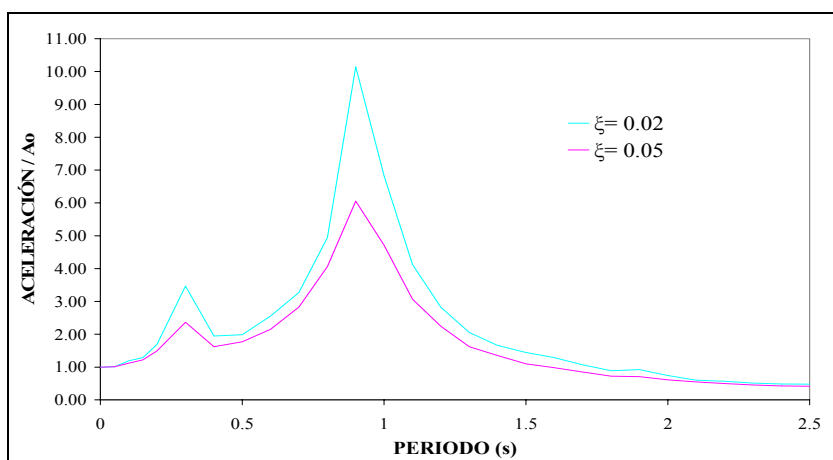


Fig. 5.48 Espectros normalizados del piso 10 del modelo TP10S3.

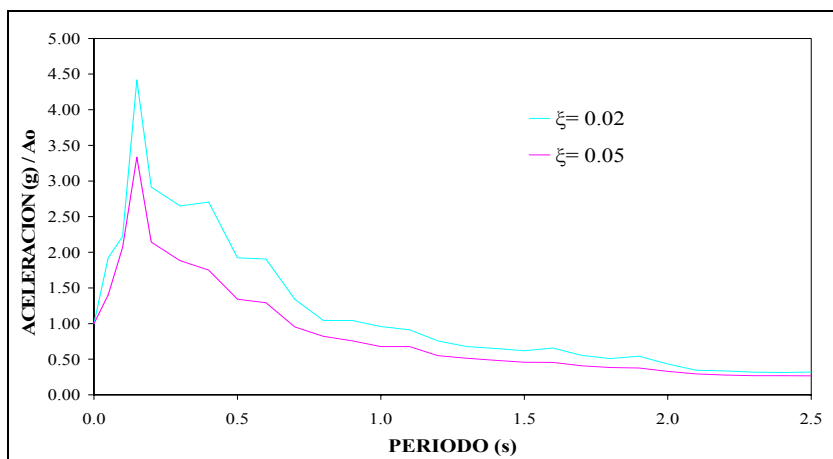


Fig. 5.49 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TM2S1.

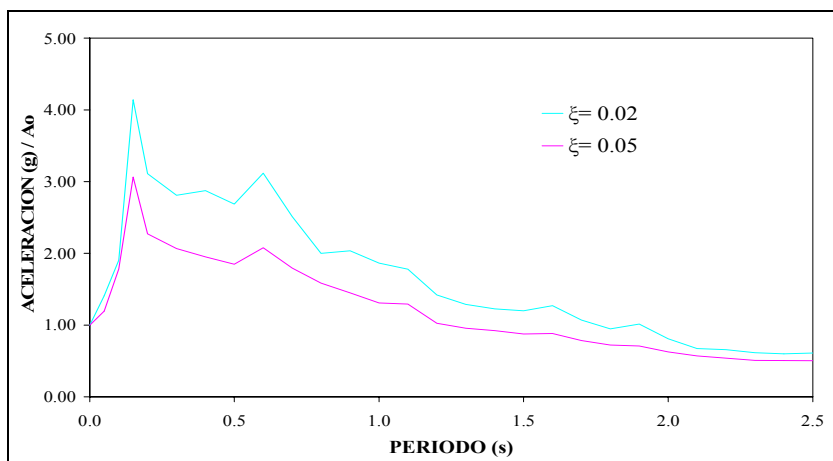


Fig. 5.50 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TM2S2.

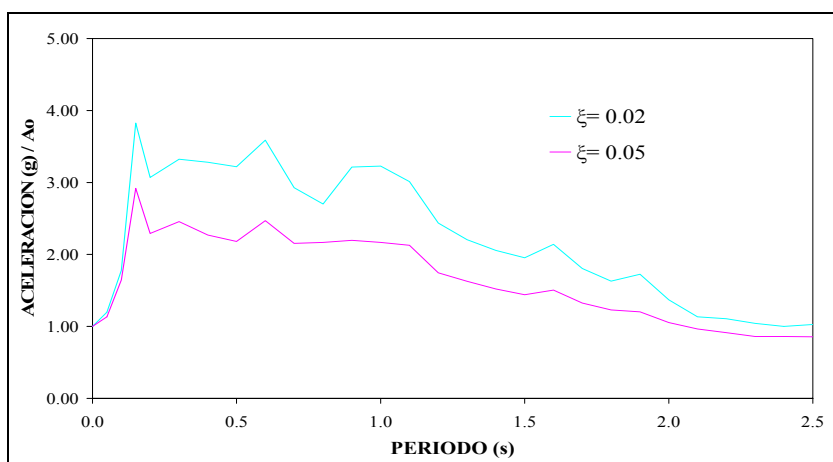


Fig. 5.51 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TM2S3.

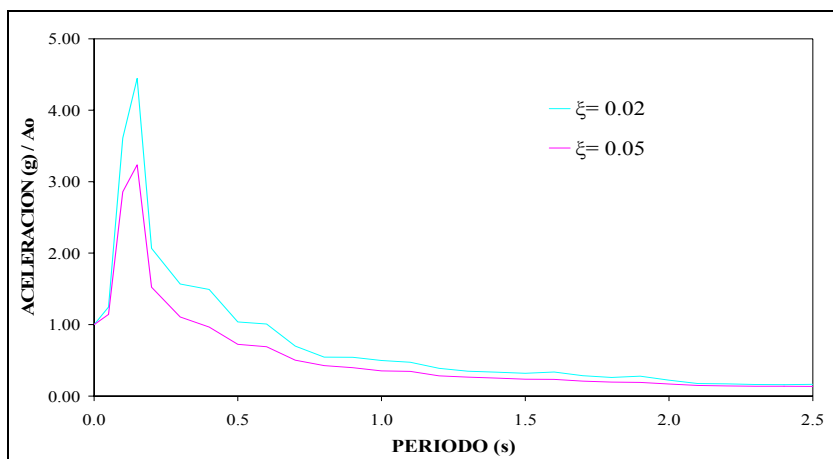


Fig. 5.52 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TM2S1.

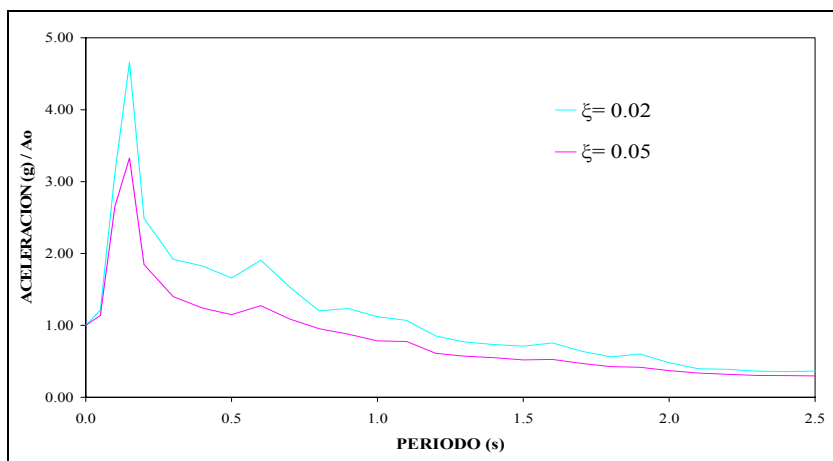


Fig. 5.53 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TM2S2.

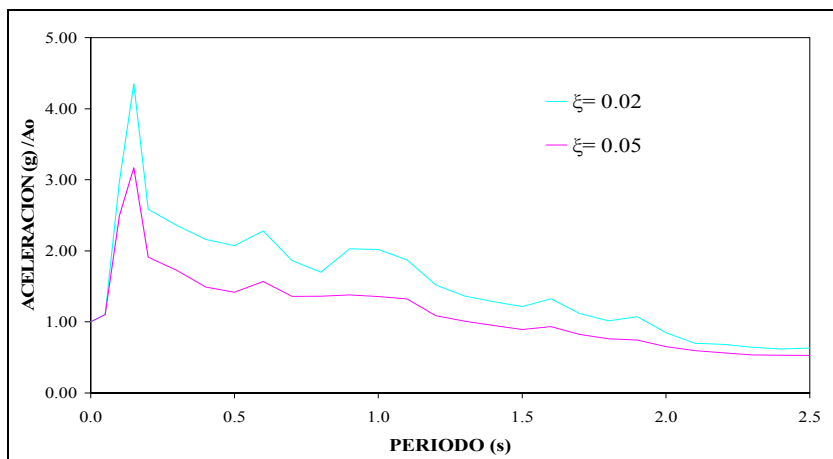


Fig. 5.54 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TM2S3.

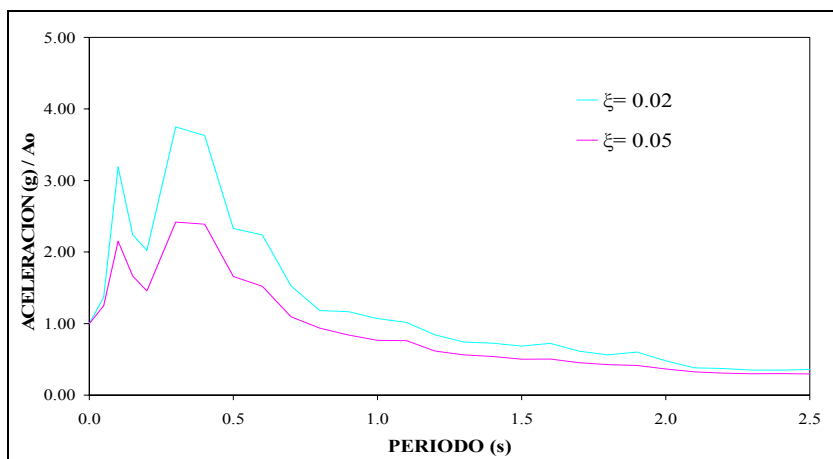


Fig. 5.55 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TM4S1.

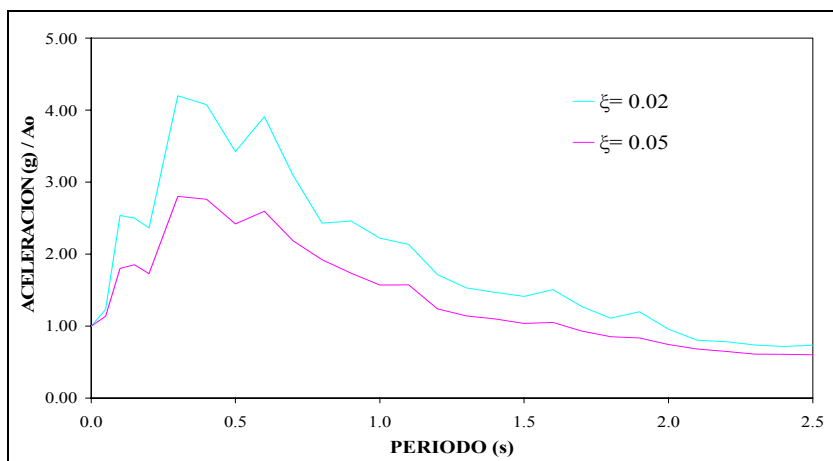


Fig. 5.56 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TM4S2.

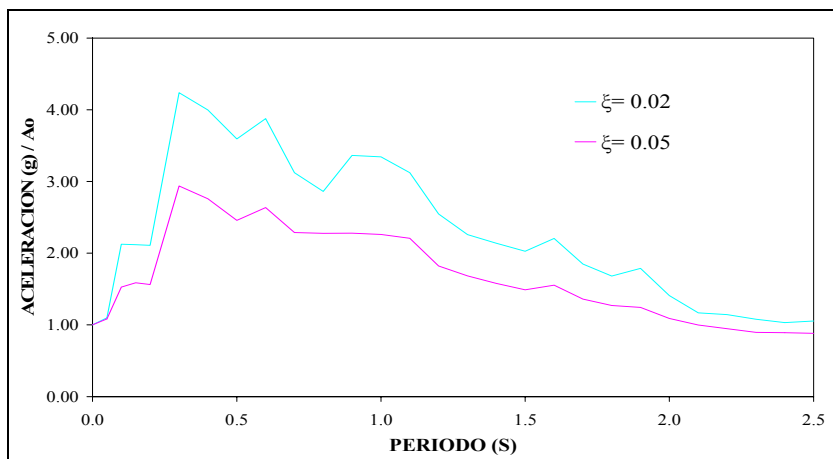


Fig. 5.57 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TM4S3.

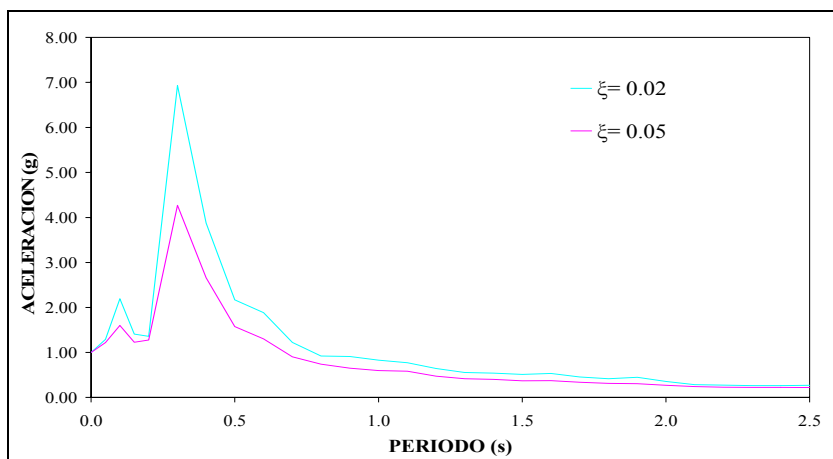


Fig. 5.58 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TM4S1.

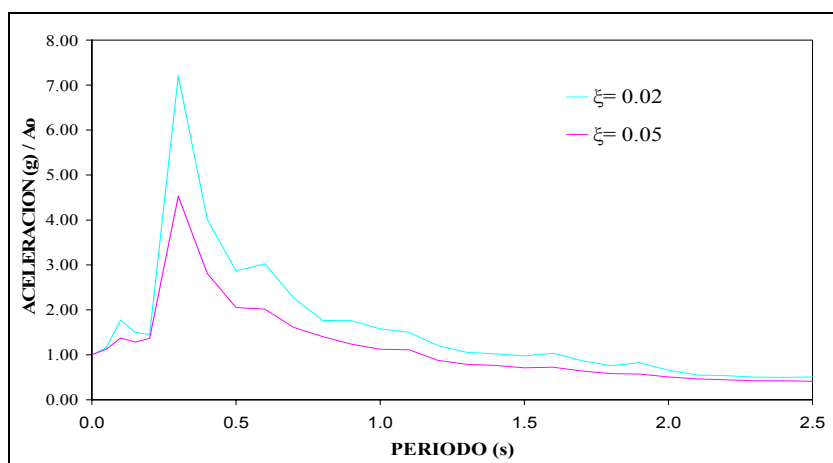


Fig. 5.59 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TM4S2.

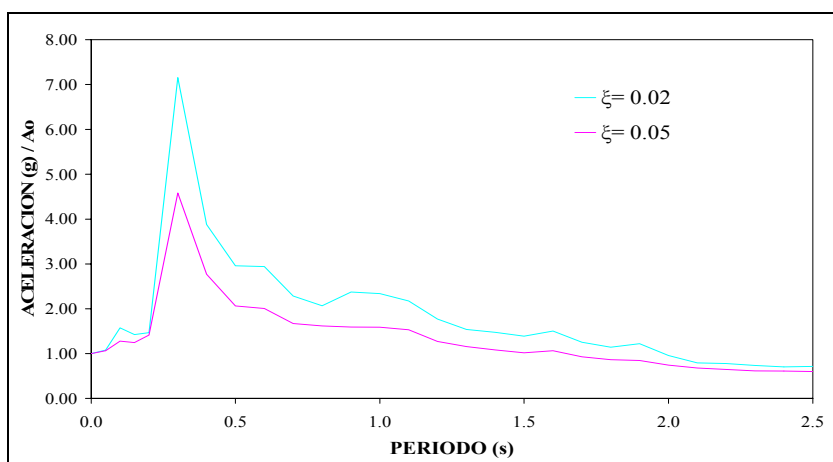


Fig. 5.60 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TM4S3.

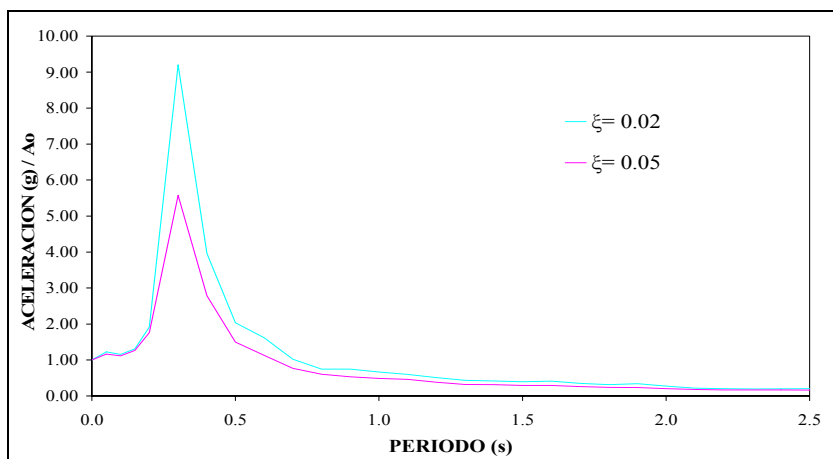


Fig. 5.61 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TM4S1.

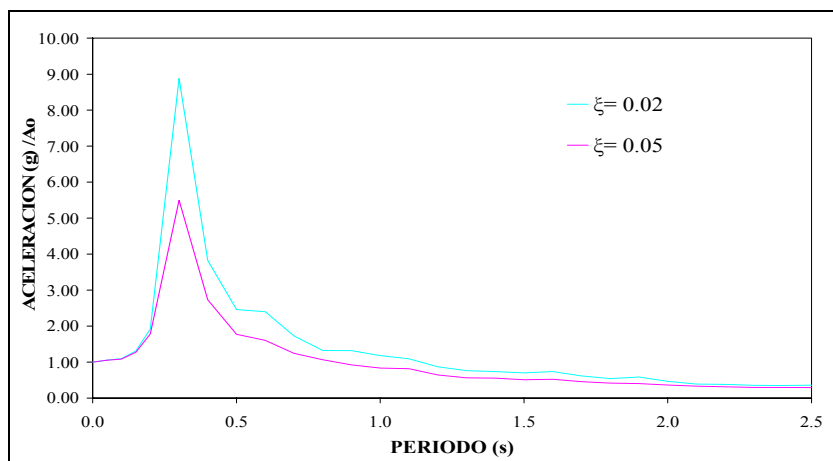


Fig. 5.62 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TM4S2.

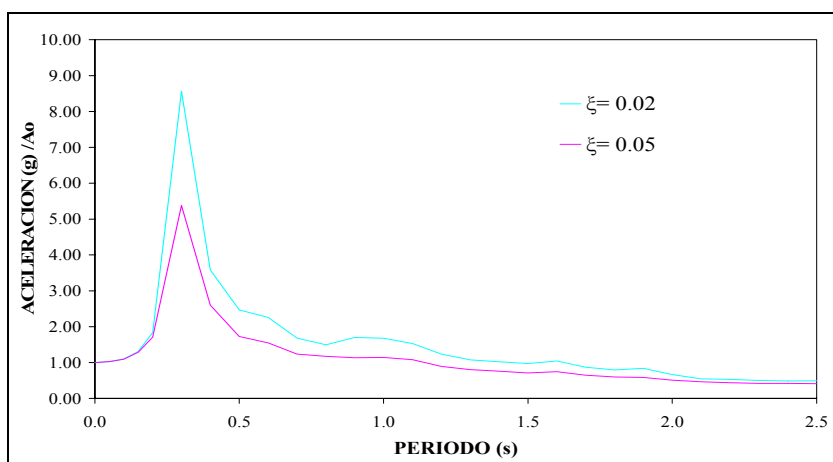


Fig. 5.63 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TM4S3.

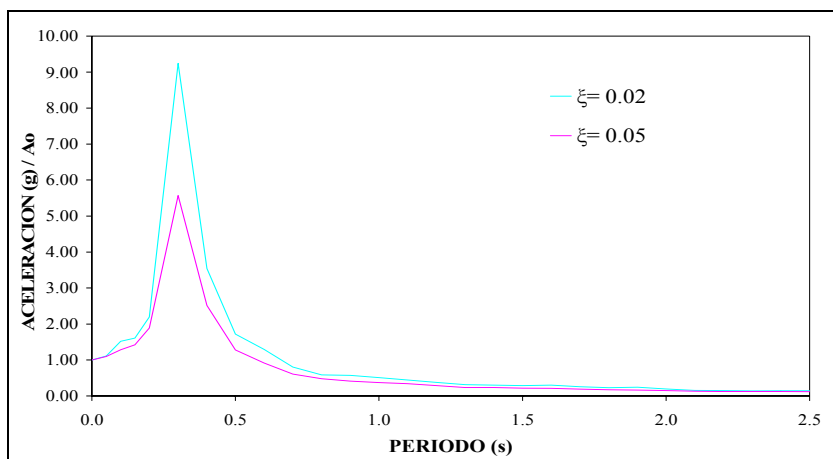


Fig. 5.64 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TM4S1.

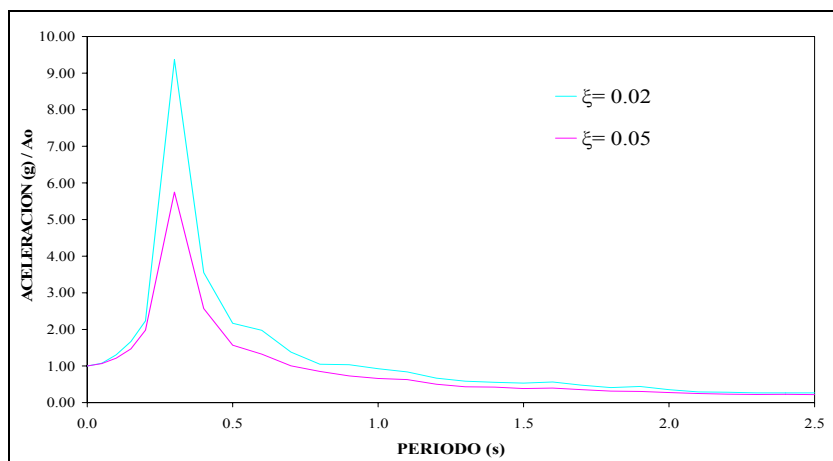


Fig. 5.65 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TM4S2.

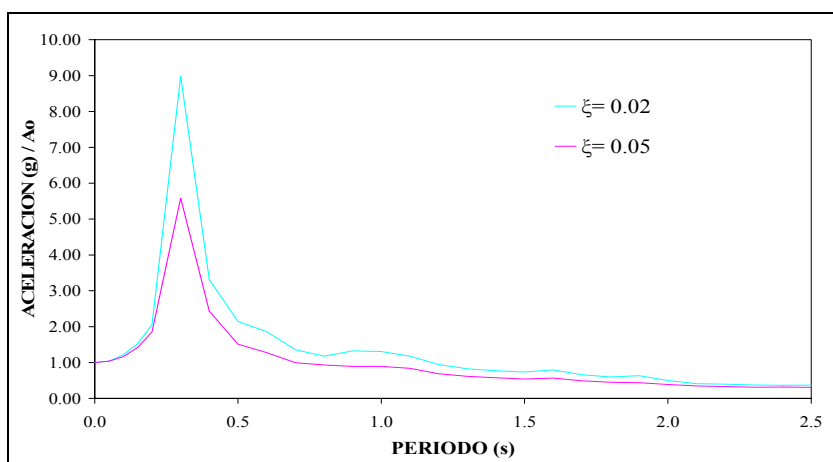


Fig. 5.66 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TM4S3.

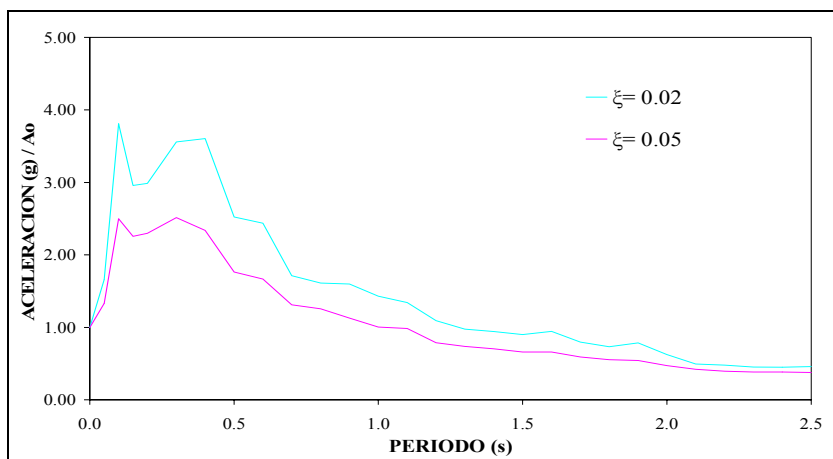


Fig. 5.67 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TM12S1.

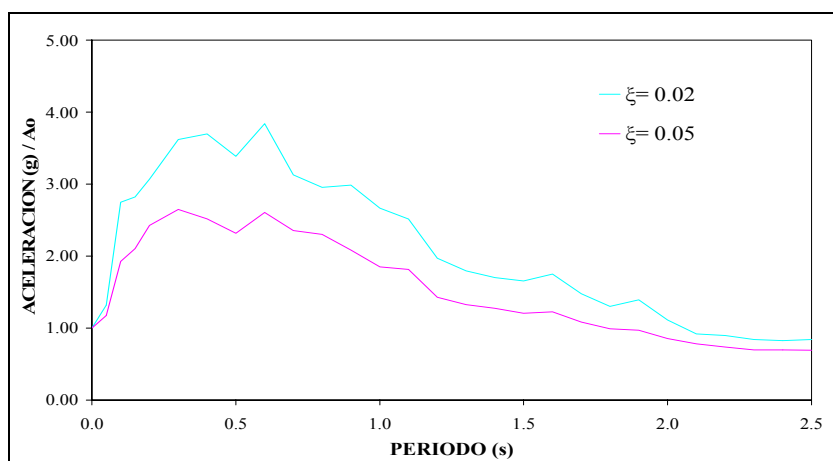


Fig. 5.68 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TM12S2.

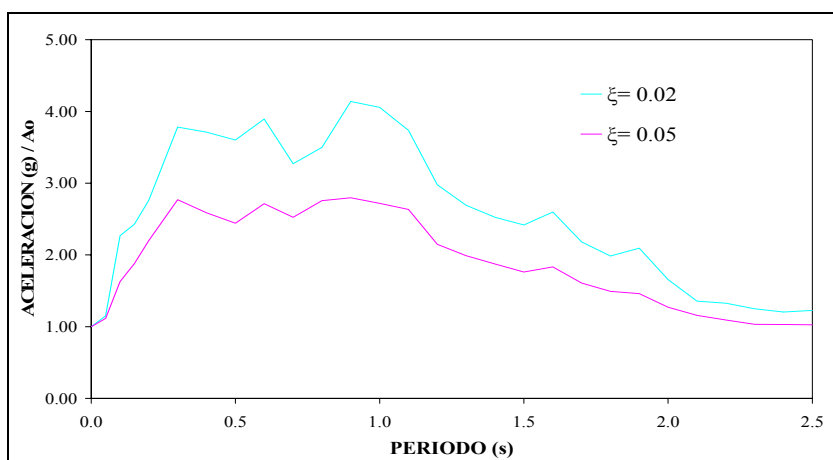


Fig. 5.69 Espectros normalizados del piso 1 del modelo TM12S3.

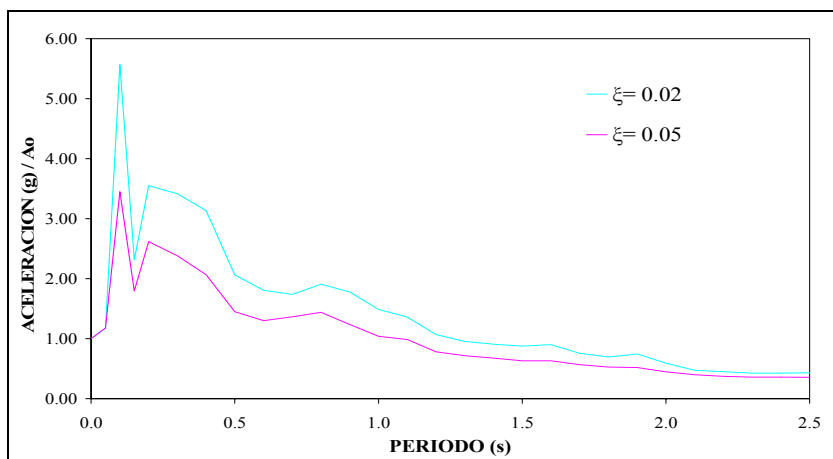


Fig. 5.70 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TM12S1.

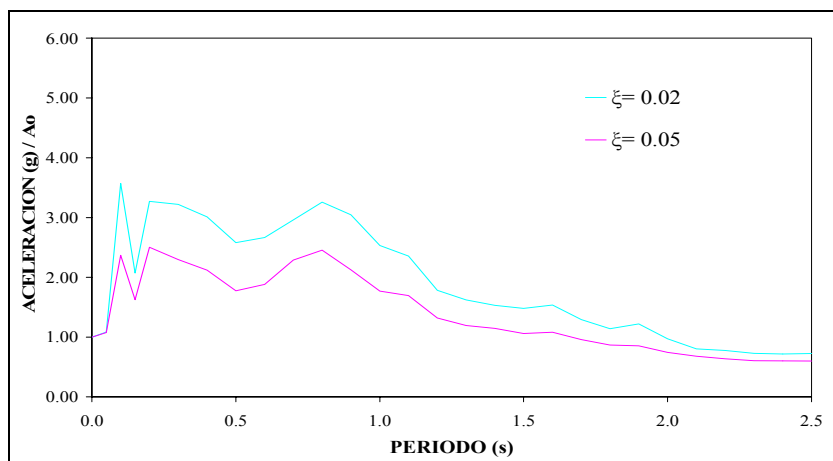


Fig. 5.71 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TM12S2.

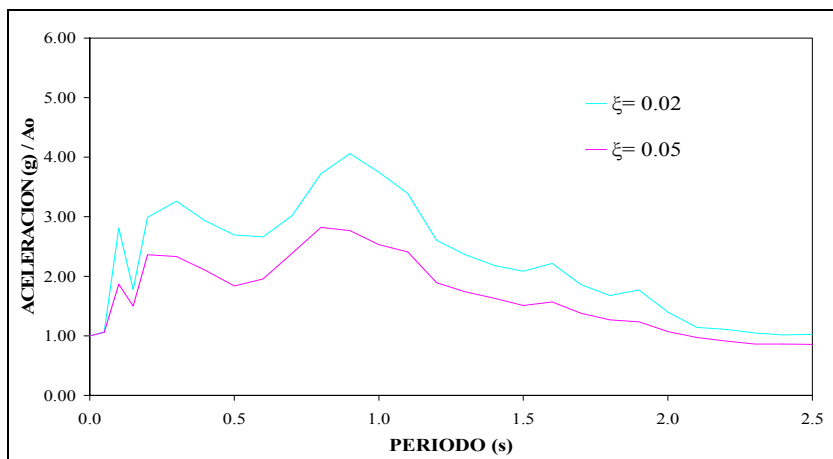


Fig. 5.72 Espectros normalizados del piso 2 del modelo TM12S3.

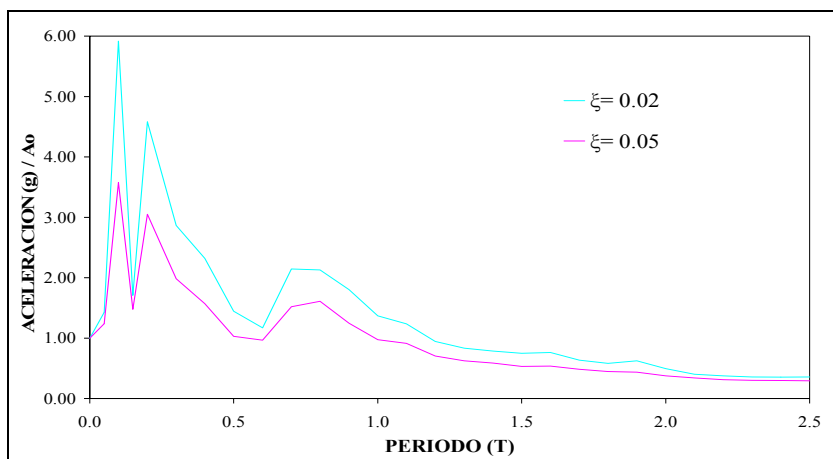


Fig. 5.73 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TM12S1.

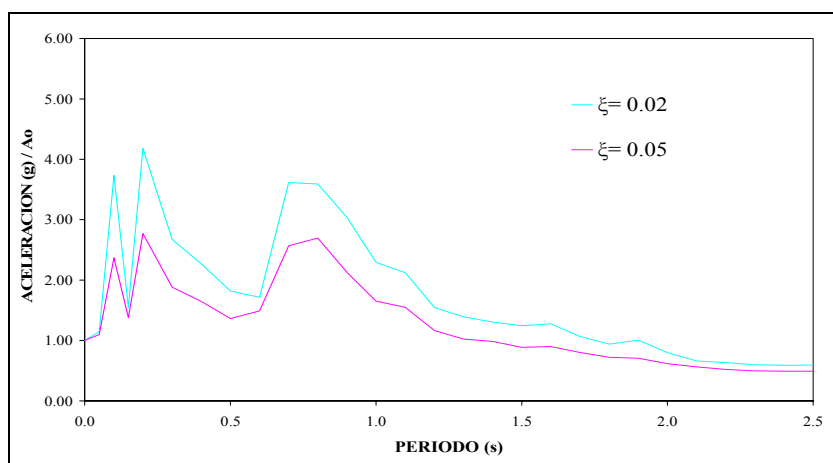


Fig. 5.74 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TM12S2.

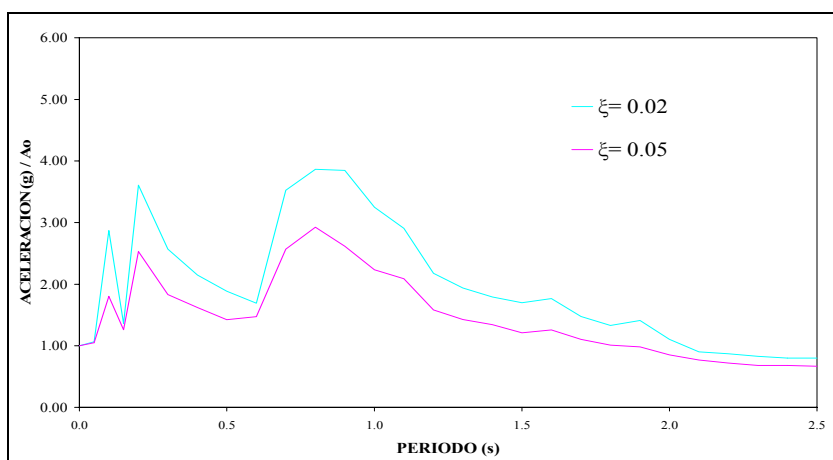


Fig. 5.75 Espectros normalizados del piso 3 del modelo TM12S3.

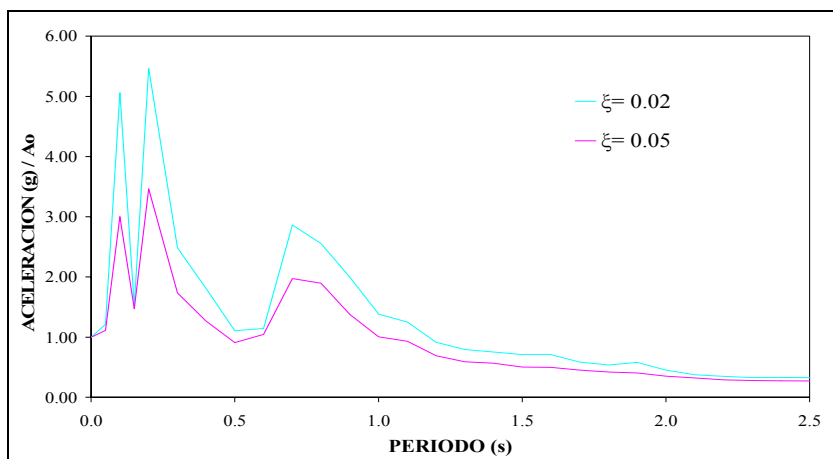


Fig. 5.76 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TM12S1.

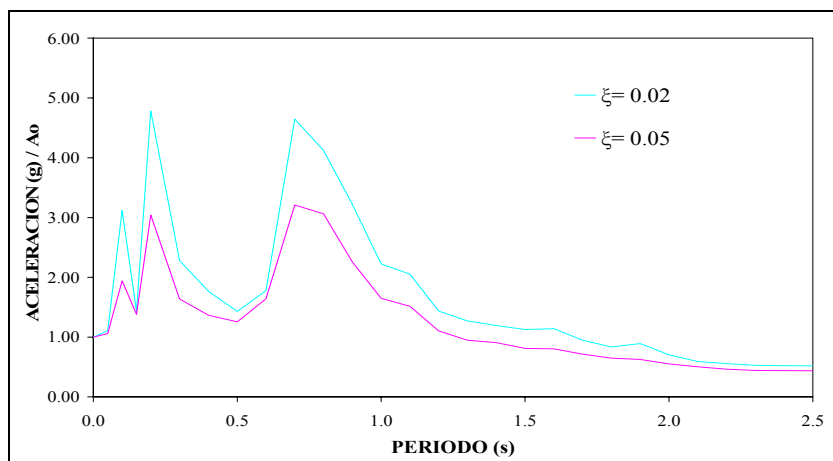


Fig. 5.77 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TM12S2.

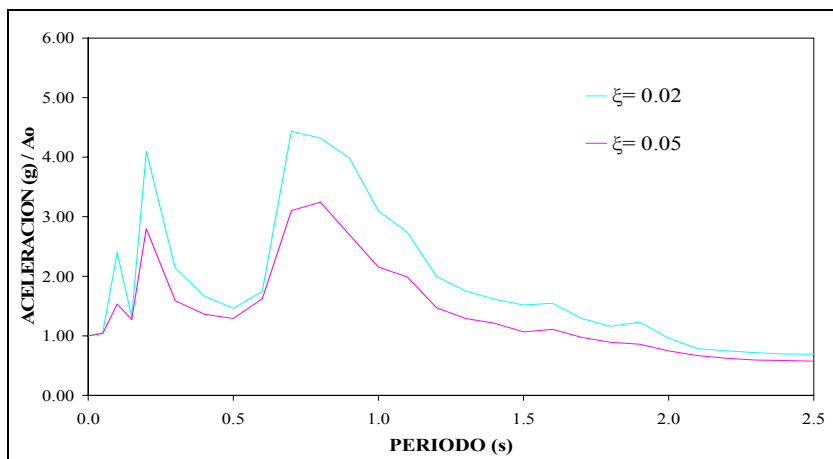


Fig. 5.78 Espectros normalizados del piso 4 del modelo TM12S3.

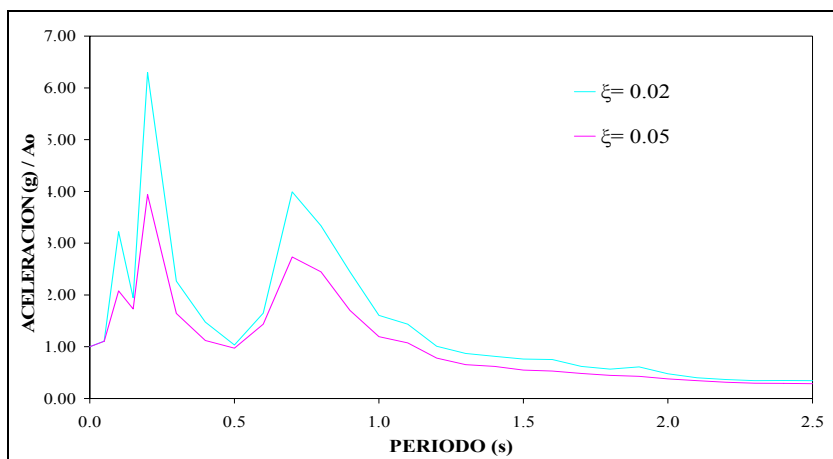


Fig. 5.79 Espectros normalizados del piso 5 del modelo TM12S1.

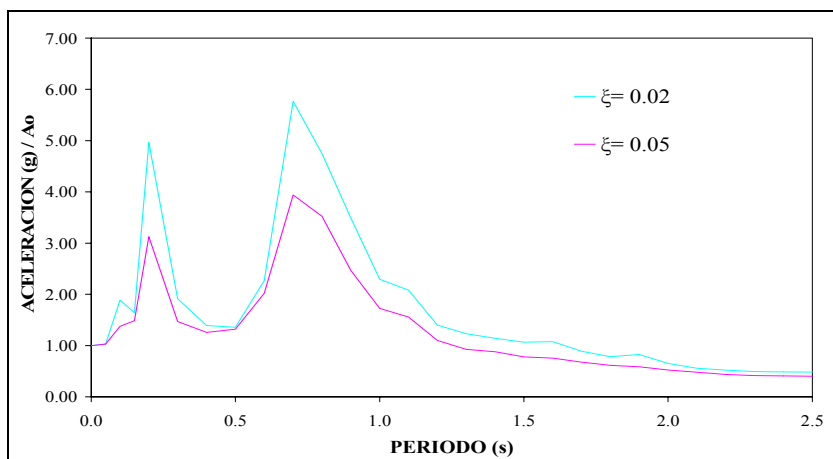


Fig. 5.80 Espectros normalizados del piso 5 del modelo TM12S2.

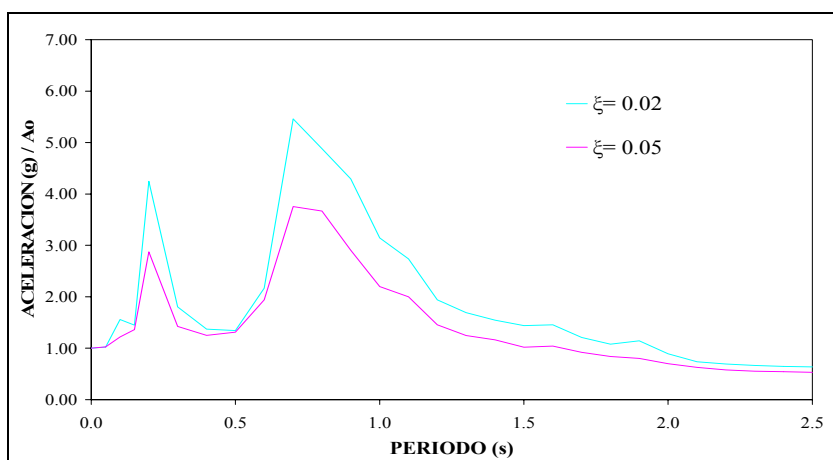


Fig. 5.81 Espectros normalizados del piso 5 del modelo TM12S3.

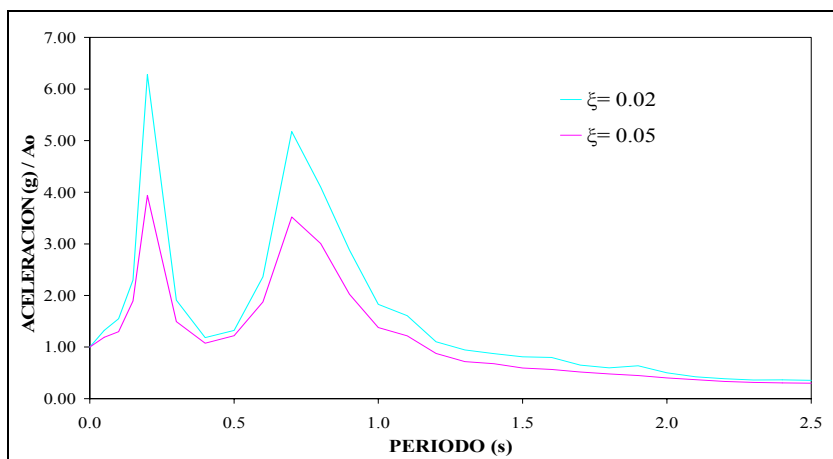


Fig. 5.82 Espectros normalizados del piso 6 del modelo TM12S1.

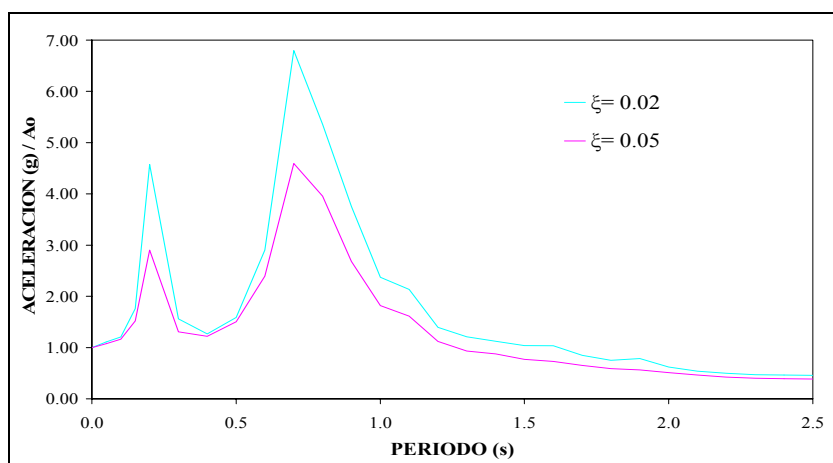


Fig. 5.83 Espectros normalizados del piso 6 del modelo TM12S2.

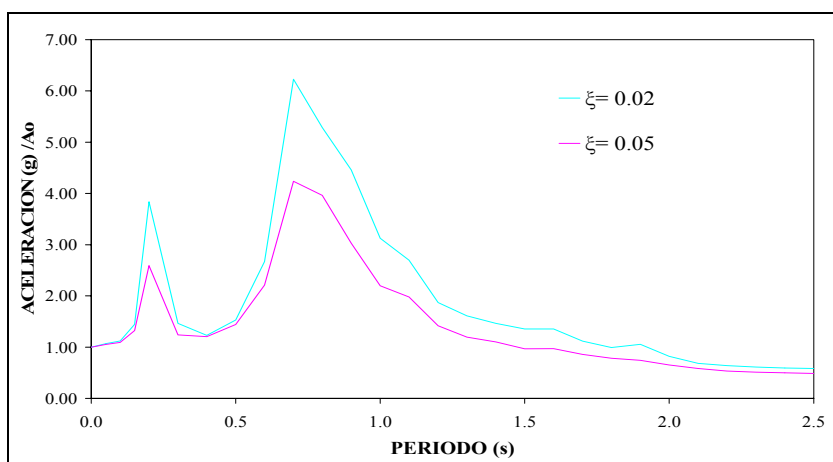


Fig. 5.84 Espectros normalizados del piso 6 del modelo TM12S3.

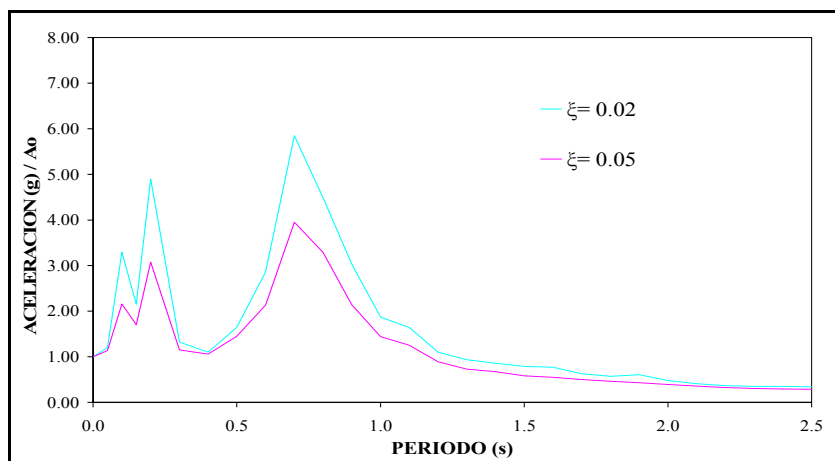


Fig. 5.85 Espectros normalizados del piso 7 del modelo TM12S1.

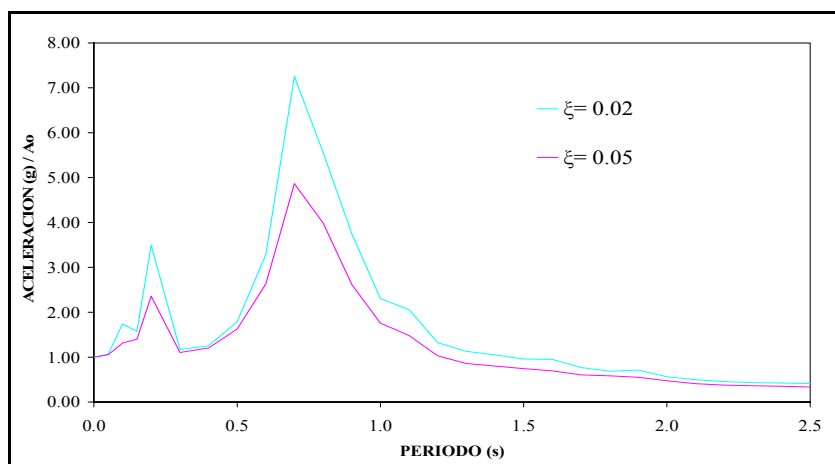


Fig. 5.86 Espectros normalizados del piso 7 del modelo TM12S2.

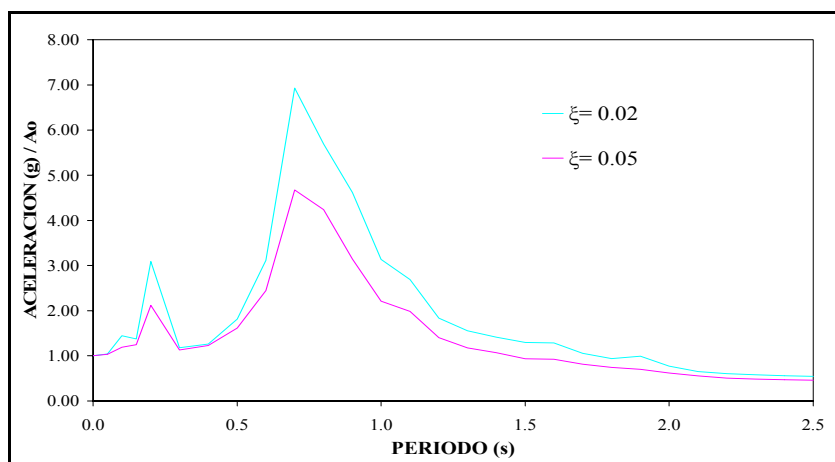


Fig. 5.87 Espectros normalizados del piso 7 del modelo TM12S3.

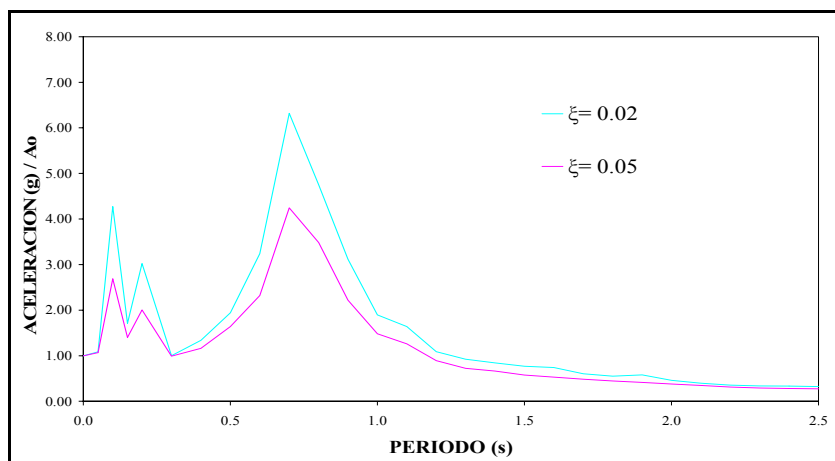


Fig. 5.88 Espectros normalizados del piso 8 del modelo TM12S1.

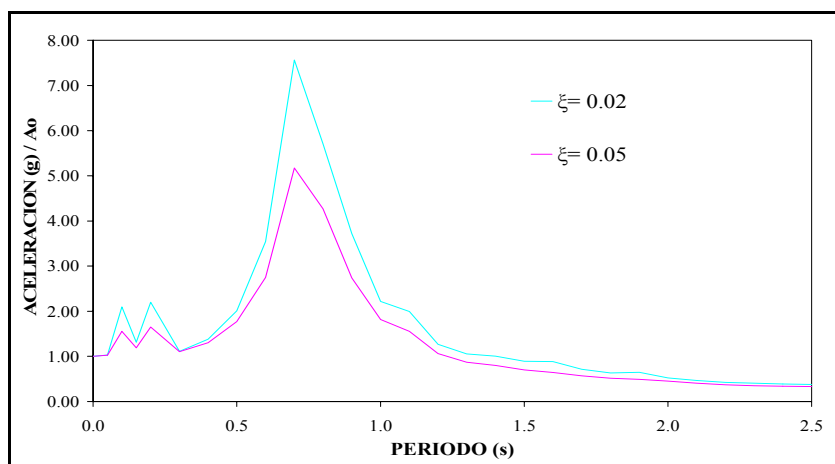


Fig. 5.89 Espectros normalizados del piso 8 del modelo TM12S2.

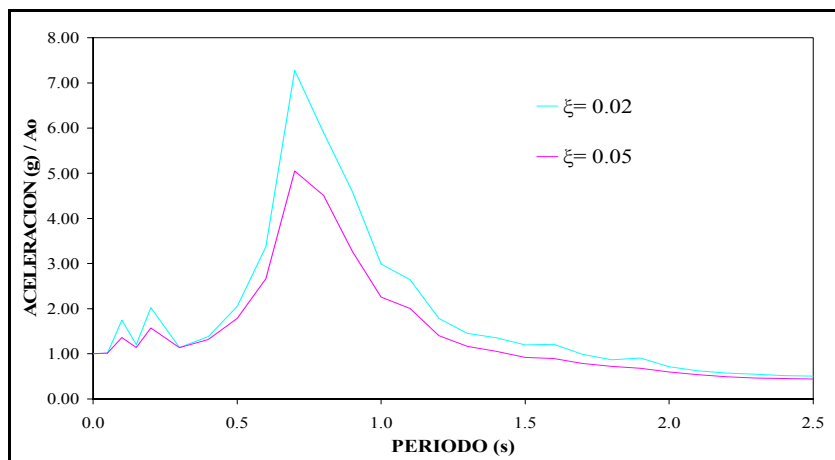


Fig. 5.90 Espectros normalizados del piso 8 del modelo TM12S3.

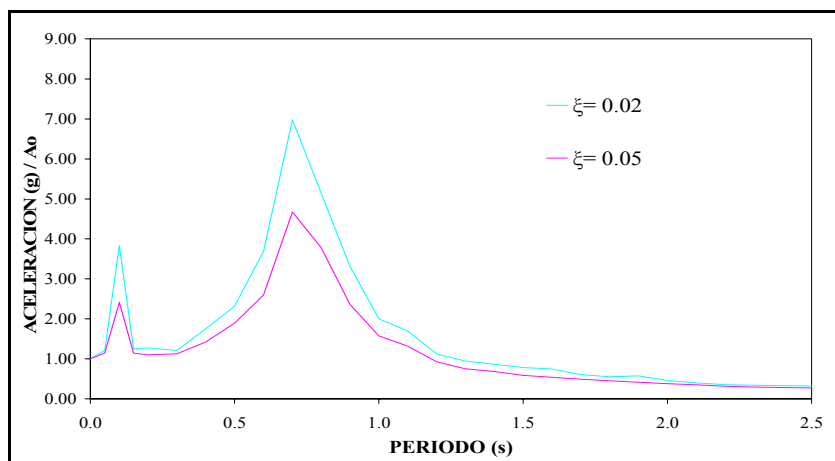


Fig. 5.91 Espectros normalizados del piso 9 del modelo TM12S1.

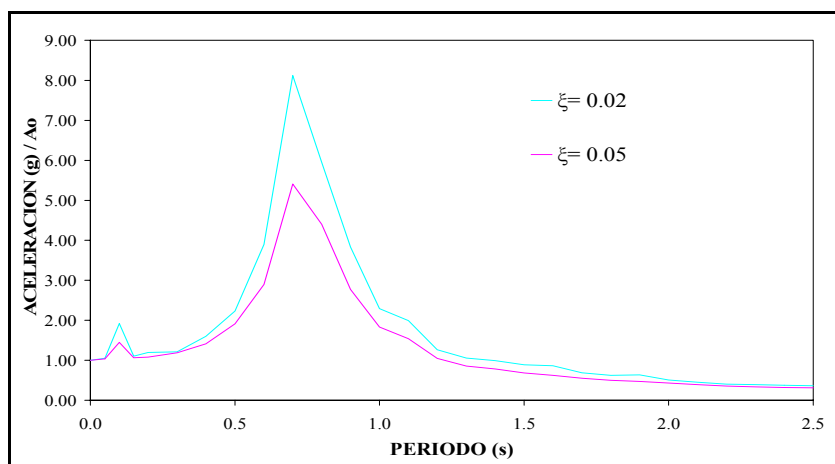


Fig. 5.92 Espectros normalizados del piso 9 del modelo TM12S2.

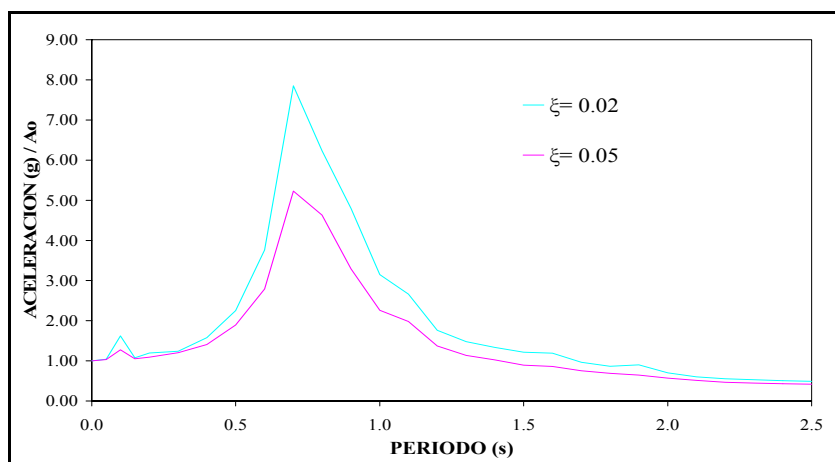


Fig. 5.93 Espectros normalizados del piso 9 del modelo TM12S3.

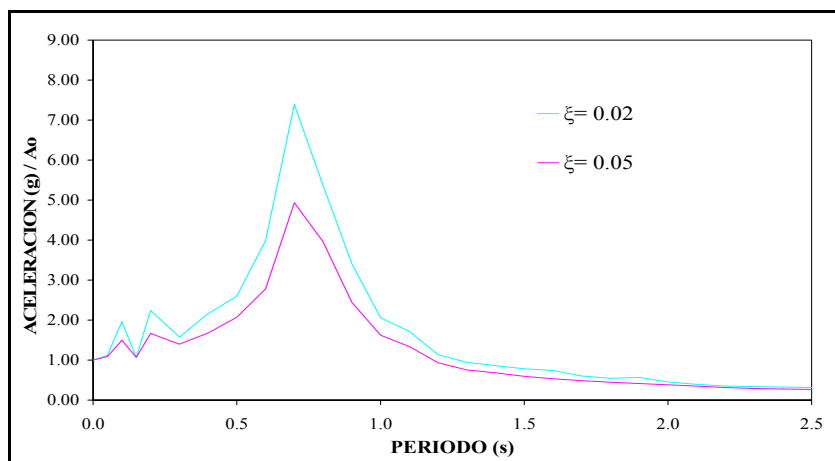


Fig. 5.94 Espectros normalizados del piso 10 del modelo TM12S1.

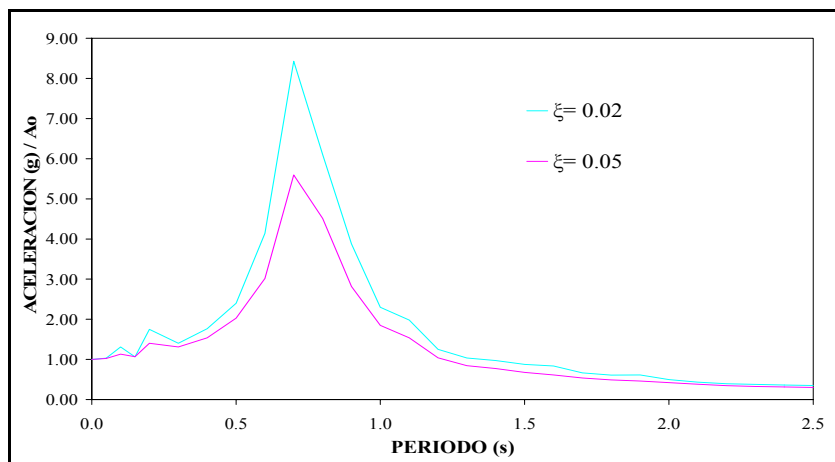


Fig. 5.95 Espectros normalizados del piso 10 del modelo TM12S2.

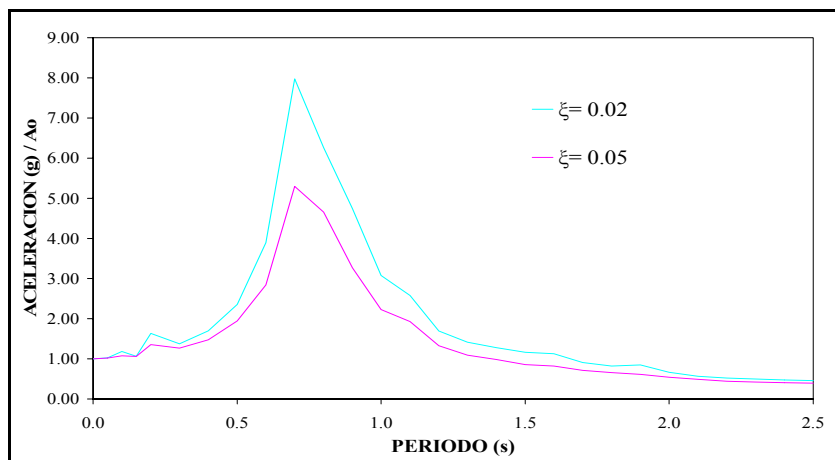


Fig. 5.96 Espectros normalizados del piso 10 del modelo TM12S3.

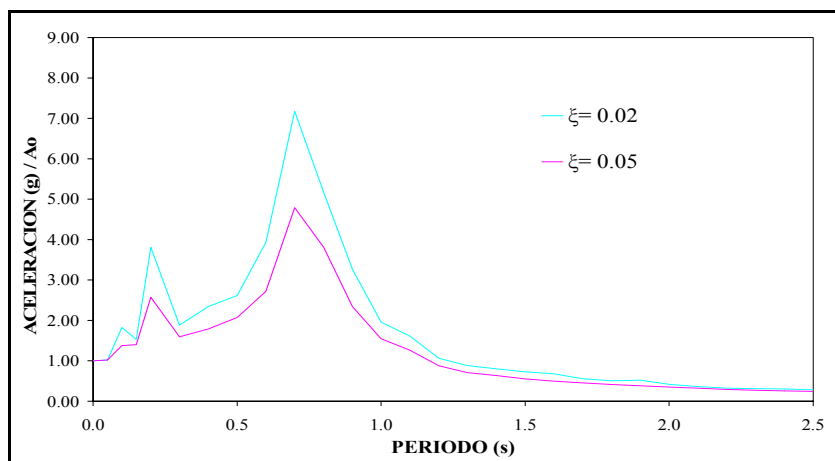


Fig. 5.97 Espectros normalizados del piso 11 del modelo TM12S1.

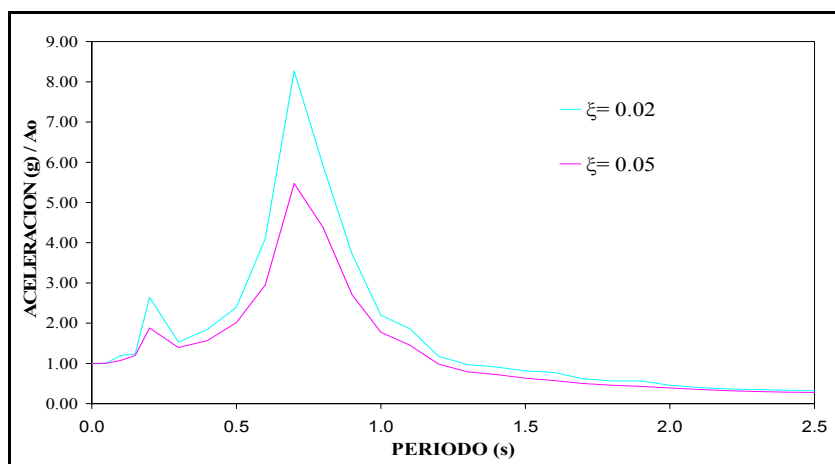


Fig. 5.98 Espectros normalizados del piso 11 del modelo TM12S2.

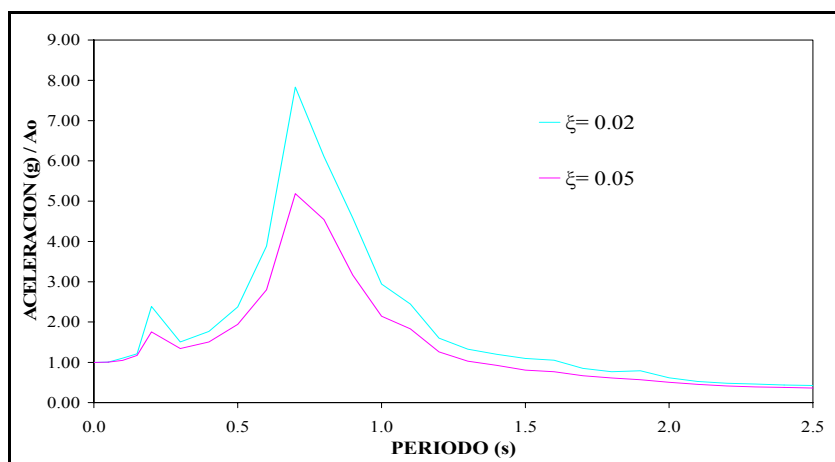


Fig. 5.99 Espectros normalizados del piso 11 del modelo TM12S3.

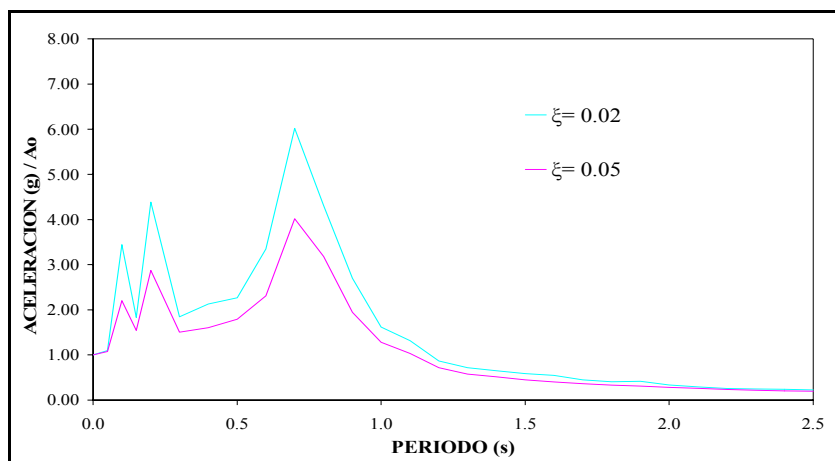


Fig. 5.100 Espectros normalizados del piso 12 del modelo TM12S1.

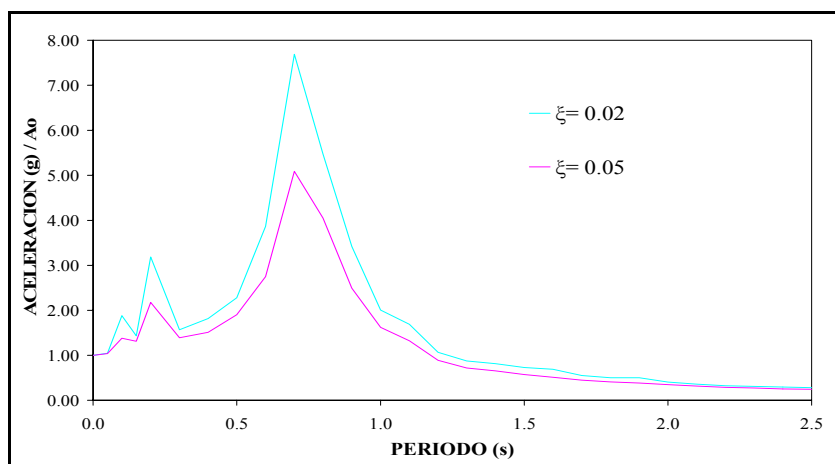


Fig. 5.101 Espectros normalizados del piso 12 del modelo TM12S2.

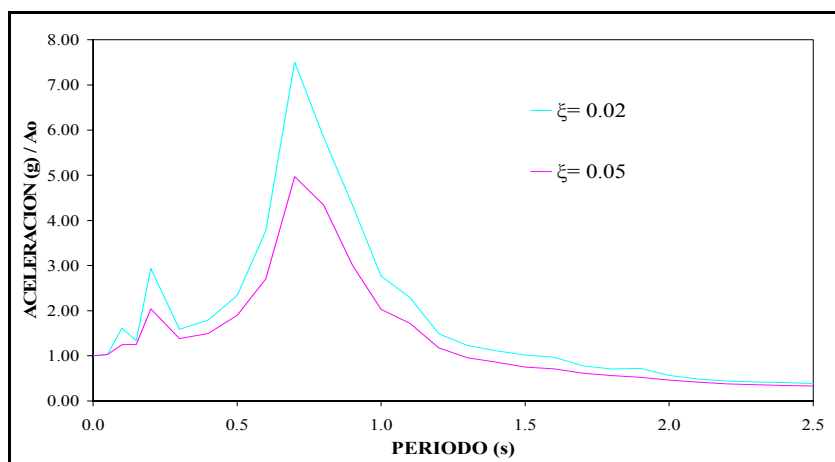


Fig. 5.102 Espectros normalizados del piso 12 del modelo TM12S3.

Se puede observar que para los dos amortiguamientos los espectros normalizados de piso tienen la misma tendencia. Para amortiguamientos más pequeños la amplificación de piso es mayor. La diferencia de amplificación entre ambos amortiguamientos es más notoria en aquellos valores de periodo que coinciden con los periodos de vibración natural de la estructura y para el resto la diferencia disminuye hasta valores muy pequeños y en algunos casos las curvas se confunden.

5.3.- Evaluación de las Amplitudes Máximas

Con la finalidad de evaluar las amplitudes máximas, en las tablas 5.1 a 5.6 se presentan para cada modelo y forma espectral, los valores de amplificación máximos por piso para amortiguamientos de 0.05 y 0.02.

	$\xi = 0.02$			$\xi = 0.05$		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
PISO 1	5.5934	5.6163	5.4123	4.0708	4.1829	4.1959
PISO 2	7.1391	7.1626	6.9134	5.0345	5.1048	5.1064
Máximo	7.1391	7.1626	6.9134	5.0345	5.1048	5.1064

Tabla 5.1. Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TP2.

	$\xi = 0.02$			$\xi = 0.05$		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
PISO 1	5.7565	6.2538	6.0222	3.5439	3.9103	3.7535
PISO 2	8.2499	9.1560	8.7251	4.8753	5.4335	5.2314
PISO 3	9.7952	10.6081	9.9617	5.7525	6.3061	5.9409
PISO 4	9.5857	10.6987	10.0373	5.5984	6.3173	5.9686
Máximo	9.7952	10.6987	10.0373	5.7525	6.3173	5.9686

Tabla 5.2. Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TP4.

	$\xi = 0.02$			$\xi = 0.05$		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
PISO 1	4.3293	4.2193	4.5524	2.7615	2.7579	2.9893
PISO 2	6.3475	5.6996	5.7538	3.9367	3.5684	3.5362
PISO 3	7.2574	5.8299	6.6830	4.4733	3.6363	3.9977
PISO 4	6.8378	6.8316	7.7382	4.1870	4.0630	4.5959
PISO 5	6.2135	8.1086	8.8554	3.7900	4.8245	5.2390
PISO 6	6.3730	7.7511	8.1356	4.2701	5.3769	5.6298
PISO 7	8.1535	9.6174	10.0031	4.8310	5.7348	5.9723
PISO 8	8.3612	9.8577	10.4186	4.9484	5.8599	6.2127
PISO 9	7.8841	9.6400	10.3788	4.6979	5.7497	6.1889
PISO 10	6.7549	9.0533	10.1495	4.0262	5.4049	6.0574
Máximo	8.3612	9.8577	10.4186	4.9484	5.8599	6.2127

Tabla 5.3. Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TP10.

	$\xi = 0.02$			$\xi = 0.05$		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
PISO 1	4.4196	4.1427	3.8252	3.3361	3.0648	2.9182
PISO 2	4.4473	4.6609	4.3481	3.2383	3.3289	3.1693
Máximo	4.4473	4.6609	4.3481	3.3361	3.3289	3.1693

Tabla 5.4. Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TM2.

	$\xi = 0.02$			$\xi = 0.05$		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
PISO 1	3.7494	4.1998	4.2369	2.4186	2.8026	2.9369
PISO 2	6.9332	7.2074	7.1566	4.2724	4.5299	4.5822
PISO 3	9.2042	8.8810	8.5649	5.5777	5.4950	5.3818
PISO 4	9.2442	9.3688	8.9853	5.5730	5.7510	5.5862
Máximo	9.2442	9.3688	8.9853	5.5777	5.7510	5.5862

Tabla 5.5. Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TM4.

	$\xi = 0.02$			$\xi = 0.05$		
	S1	S2	S3	S1	S2	S3
PISO 1	3.8114	3.8389	4.1400	2.5161	2.6470	2.7966
PISO 2	5.5673	3.5715	4.0586	3.4514	2.5017	2.8209
PISO 3	5.9177	4.1803	3.8662	3.5766	2.7709	2.9257
PISO 4	5.4677	4.7848	4.4393	3.4647	3.2083	3.2442
PISO 5	6.2999	5.7679	5.4600	3.9402	3.9401	3.7564
PISO 6	6.2883	6.7987	6.2298	3.9393	4.5945	4.2387
PISO 7	5.8499	7.2584	6.9318	3.9508	4.8669	4.6747
PISO 8	6.3200	7.5643	7.2784	4.2476	5.1745	5.0487
PISO 9	6.9789	8.1234	7.8516	4.6727	5.4109	5.2317
PISO 10	7.3899	8.4315	7.9802	4.9363	5.5967	5.2984
PISO 11	7.1793	8.2685	7.8334	4.7901	5.4751	5.1908
PISO 12	6.0216	7.6932	7.5074	4.0171	5.0882	4.9672
Máximo	7.3899	8.4315	7.9802	4.9363	5.5967	5.2984

Tabla 5.6. Valores de Amplificación máximos por piso del modelo TM12.

De las tablas 5.1 a la 5.6 se encontró que para un factor de amortiguamiento de 0.05 el máximo valor de amplificación de piso para el modelo TP2 es 5.1064 para la forma espectral S3, modelo TP4 6.3173 para la forma espectral S2, modelo TP10 6.2127 para la forma espectral S3, modelo TM2 3.3361 para la forma espectral S1, modelo TM4 5.7510 para la forma espectral S2, modelo TM12 5.5967 para la forma espectral S2.

Independientemente del tipo de estructura y de la forma espectral el máximo valor de amplificación obtenido fue de 6.3173 con $\xi = 0.05$ y 10.6987 con $\xi = 0.02$, ambos valores corresponden al modelo TP4.

5.4.- Comparación de las Amplitudes Máximas con el Valor de C_p de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001).

En la tabla 7.3 del capítulo 7 de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) “Edificaciones Sismorresistentes”, señalan que el valor máximo de amplificación “ C_p ” es $6/R$ para subestructuras en voladizo, salas de máquina y estanques con sus contenidos, sin hacer una referencia detallada de la estimación de este valor. Este coeficiente es un valor constante e independiente del tipo de estructura, periodo fundamental, periodo del componente y nivel donde este se encuentre, entre otros y solo lo hacen depender del factor de reducción de respuesta “ R ”. En este Trabajo Especial de Grado se está adoptando un análisis lineal elástico lo cual implica que el factor de reducción de respuesta es $R=1$ y por lo tanto $C_p=6$.

El máximo valor de amplificación obtenido en este trabajo es de 6.32 para un amortiguamiento de 0.05 especificado en el aparte 5.3, notándose que es bastante cercano al valor C_p comentado anteriormente. Al comparar el valor de amplificación máxima 10.699 obtenido para amortiguamiento del 0.02 con el de la norma se observó que está por encima del establecido, evidenciando la gran influencia del amortiguamiento en los espectros de piso particularmente en los valores máximos de amplificación.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.- Conclusiones

Con base a los resultados obtenidos de los análisis dinámicos lineales realizados a los modelos de estructuras de concreto armado en el plano aquí presentados, se puede concluir lo siguiente:

1. Se propuso y ejecutó una metodología de análisis en el tiempo, conducente a la determinación de los espectros de aceleración de piso elástico en estructuras de concreto armado Tipo I y Tipo III, a partir de los espectros de respuesta elásticas propuestos en las Normas COVENIN 1756-98 (Rev. 2001).
2. Independientemente de las propuestas espectrales y del factor de amortiguamiento que se use, la forma de la respuesta del espectro de piso está fuertemente influenciado por las propiedades dinámicas de cada estructura.
3. En los espectros de pisos se evidenciaron amplificaciones elevadas y se corroboró que coincidían con los periodos de vibración natural principales de las estructuras.
4. Los espectros normalizados de piso manifestaron poseer tres zonas de muy fácil identificación, una zona de valores ascendentes para periodos cortos, otra

descendente para periodos largos y la última donde ocurren las máximas amplitudes.

5. Se observó claramente que los espectros de respuesta normalizados para amortiguamiento de 0.05 respecto al crítico comparados con los espectros tipificados de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) para cada forma espectral guardan cierta similitud en las zonas de periodos cortos y en las zonas de periodos largos.
6. Los valores de amplificación máximos observados dependen de las propiedades dinámicas de la estructura, del factor de amortiguamiento y de las formas espectrales, parámetros aquí estudiados.
7. El valor máximo de amplificación para un factor de amortiguamiento de 0.05 respecto al crítico fue de 6.32 y para amortiguamiento de 0.02 un valor máximo de 10.70. El valor considerado por la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) $C_p=6$ para $R=1$ de la tabla 7.3 es comparable únicamente con el primer valor antes considerado (6.32).
8. De los resultados aquí encontrados, se evidencia que para apéndices que posean periodos naturales que no estén cercanos a los valores máximos de amplificación sería un tanto conservador utilizar los valores establecidos en el capítulo 7 de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) de “Edificaciones Sismorresistentes”.

6.2.- Recomendaciones

Como principales recomendaciones se proponen:

1. Hacer extensivo este trabajo a análisis en el rango no-lineal.
2. Evaluar la aplicación de los espectros de piso derivados a partir del espectro de la base.
3. Realizar una muestra mayor sobre análisis lineales para determinar con más exactitud los valores de C_p y evaluar si existen otros parámetros a los aquí estudiados que puedan influenciar en dicha determinación.

REFERENCIAS

1. Rosenblueth, Emilio. Design of Earthquake resistant structures. “*Elementos no estructurales*”. Goldberg, Alfred y Rukos, Eduardo. 1980.
2. Norma Venezolana COVENIN N° 1756-2001, “*Edificaciones Sismorresistentes*”. Caracas, Marzo 2001.
3. Bertero, Vitelmo y Borzognia Yousef. “*Earthquake Engineering. From engineering seismology to performance-Based Engineering*”. CRC PRESS. 2004.
4. Paz, Mario. *Dinámica Estructural (Teoría y Cálculo)*. Editorial REVERTE, S.A, Caracas, 1992.
5. Minoru, Wakabayashi. *Dinámica de Estructuras Sismorresistentes*. McGraw-Hill, México, 1998.
6. Gasparini Dario and Vanmarcke Erik, *Generation of artificial time histories compatible with a specified target spectrum (SIMQKE)*, Department of civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, National Information Service for Earthquake (NISEE), University of California, Berkeley, 1976. E.H. VANMARCKE, C. A. CORNELL
7. Static and Dynamic Finite Elements Analysis of Structures Nonlinear 8.3.3 CSI. Computers Structures, SAP 2000, año 2004.
8. Navin C. Nigam y Paul C. Jennings. *Cálculo spectral para terremotos digitalizados a intervalos de tiempos iguales*. (SPECE), Instituto Tecnológico de California, Pasadera California, 1968.