



AISLAMIENTO SÍSMICO DE BASE EN CONSTRUCCIONES CIVILES, EMPLAZADAS EN ZONAS DE ALTO RIESGO SÍSMICO

TESIS DOCTORAL

Tesista:

Ing. Miguel Eduardo Tornello

Director:

PHd Mauricio SARRAZIN ARELLANO

DOCTORADO EN INGENIERÍA

2007

Doctorado en Ingeniería.

Tema: Aislamiento sísmico de base en construcciones civiles, emplazadas en zonas de alto riesgo sísmico.

Tesis Doctoral

DOCTORADO EN INGENIERIA
Mendoza, Argentina. Noviembre de 2007

DEDICACIÓN

Para Pilar, Sebastián y Matías quienes tuvieron la paciencia de acompañarme en silencio, con un sincero respeto por los tiempos de trabajo, resignaron horas de ausencia y mucho tiempo de compartir en familia.

Para mis padres quienes nunca entendieron esto y tampoco se enteraron lo que estaba pasando.

Para mis amigos y colegas, quienes por fin encontraran una respuesta a la inevitable pregunta ¿Cuándo terminas?.

Para todos los docentes, investigadores y alumnos que muestren interés en profundizar el nivel alcanzado en el presente trabajo.

RECONOCIMIENTOS

El trabajo de tesis ha sido desarrollado dentro del Programa de Becas para docentes de la Universidad Tecnológica Nacional, para realizar carreras de Doctorado, por lo tanto se agradece a las autoridades de la Universidad por la confianza y apoyo institucional brindado al presente proyecto.

El trabajo de investigación fue constantemente apoyado por las autoridades de la Facultad Regional Mendoza. Se agradece el apoyo brindado en los comienzos del mismo al entonces Decano Ing. Julio C. Cobos y al actual Decano Ing. Eduardo Balasch. Sin el apoyo institucional de las personas que les compete tomar decisiones, el proyecto no hubiese sido posible.

El trabajo de tesis se ha llevado adelante mediante una constante participación del Dr. Ing. Mauricio Sarrazin Arellano. Se agradece de una manera especial sus aportes, enseñanzas, dedicación, constante preocupación por la concreción del proyecto y sobre todo por haberme permitido ganar un sincero amigo.

El proyecto fue realizado dentro del ámbito del Centro Regional de Desarrollos Tecnológicos para la Construcción Sismología e Ingeniería Sísmica (CeReDeTec). Se agradece el apoyo brindado en los comienzos del trabajo al entonces Director Ing. Rufino Michelini y a la actual Directora del Centro Ing. Noemí Graciela Maldonado. La constante preocupación de ambos permitieron disponer de un ámbito adecuado para el estudio y la investigación.

El desarrollo total del proyecto fue posible gracias al apoyo económico de la empresa GERB s. a., tanto de su casa central en Alemania, como de su representante en Argentina. En particular se agradece la constante colaboración del Dr. Ing. José Stuardi y de Christoph von Waldow. Con el primero hemos compartidos muchas horas, también días, de arduos trabajos para poder concretar el proyecto que inicialmente soñamos juntos, agradezco la amistad que he ganado.

El trabajo de investigación se llevó adelante gracias a la colaboración de muchos docentes de la Facultad Regional Mendoza y en particular de mis eternos “maestros”, Ing. Rufino Michelini, Ing. Eduardo Silva e Ing. Alberto Fortuna, quienes constantemente aportaron su

experiencias y conocimientos, sin mencionar las innumerables gestiones institucionales, para que el proyecto pudiese concretarse en todos sus objetivos.

Se agradece el apoyo brindado por mis colegas más cercanos: Ing. Carlos Frau, Ing. Nery Pizarro, Ing. Noemí G. Maldonado e Ing. Gustavo Palazzo, quienes en forma permanente aportaron sus sugerencias al desarrollo del trabajo. El Ing. Nery Pizarro, junto al Ing. Alberto Fortuna, fueron algunos de los protagonistas más importantes durante la etapa de montaje del sistema de aislamiento, la colaboración brindada por ellos fue sumamente valorada al momento de revertir las dos situaciones de fracaso que se tuvo durante el proceso de montaje del sistema de aislamiento. No quisiera olvidarme de citar, en esta instancia, el Ing. Elio Minola quien tenía la responsabilidad de controlar la verticalidad del edificio durante el citado proceso y al Dr. Lic. Raúl Pérez quien prestó su colaboración en la edición de la tesis.

Los avances del trabajo fueron publicados, a través del tiempo, en distintos seminarios, congresos y revistas de la especialidad. Algunas de dichas publicaciones se realizaron en lengua inglesa (por ejemplo DYNAMIC RESPONSE OF A BUILDING WITH BASE ISOLATION FOR NEAR – FAULT MOTION. 9th Canadian Conference on Earthquake Engineering. Ottawa., por citar alguna). Se agradece en forma especial la colaboración de la Profesora M. N. Riartes de Romero en la revisión de los trabajos elaborados en inglés y su excelente predisposición para la colaboración permanente.

El proyecto tuvo el aporte de mucha gente joven, profesional, quienes constantemente mostraron su pleno entusiasmo en cada etapa del trabajo, en muchos casos aportaron sus propias manos para la concreción de determinadas tareas. Se agradece especialmente el apoyo del Ing. Gustavo Gioacchini, Ing. Sebastián Panella e Ing. Nelson Agüera, antes alumnos, hoy verdaderos profesionales y colegas aunque me hagan creer que todavía aprenden algo de lo que les puedo transmitir.

El proyecto de investigación tuvo el aporte, durante la etapa constructiva y montaje del sistema de aislamiento, de muchos alumnos de ingeniería civil. Todos ellos realizaron de manera desinteresada cada una de las tareas que se le encomendaba con el sólo deseo de participar y aprender. Nombrarlos a todos sería demasiado extenso sin embargo, ellos quedaran representados en esta instancia por dos, Gabriel Donadio y Jorge Marini quienes aportaron su valiosa colaboración en la etapa final de la presente tesis.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICACIÓN	III
RECONOCIMIENTOS	IV
TABLA DE CONTENIDOS	VI
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABLAS	XXIII
LISTA DE SÍMBOLOS	XXVIII
RESUMEN	XXXV
ABSTRACT	XXXVII

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1	Introducción	1
1.2	Objetivos de la tesis	3
1.3	Metodología	4
1.4	Estructura de la tesis	6
1.5	Resultados preliminares	9

CAPÍTULO 2. EFECTO DE LOS GRANDES TERREMOTOS SOBRE LAS OBRAS DE INGENIERÍA. OPORTUNIDADES PARA DISCUTIR UNA NUEVA CONCEPCIÓN DEL DISEÑO SISMORRESISTENTE

2.1	Introducción	11
2.2	Los grandes terremotos del mundo	14
2.2.1	Efecto de los terremotos destructivos ocurridos en el mundo	15
2.2.2	Terremotos destructivos ocurridos en Argentina	28
2.3	Resumen	30

CAPÍTULO 3. CONDICIONES GEOLÓGICAS LOCALES Y REGIONALES

3.1	Introducción	36
3.2	Geología regional y local	36
3.2.1	Aspectos relevantes de la geología local para la tesis	44
3.3	Fallas activas que interesan a la zona de emplazamiento del edificio con aislamiento de base	50

3.4	Terremotos importantes que afectaron el Gran Mendoza.	51
	Fuentes sísmicas	
3.5	Caracterización de las fuentes sísmicas del área del Gran Mendoza	53
3.6	Peligro sísmico	55
	3.6.1 Fuentes de corteza superficial	58
	3.6.2 Zona de subducción	60
3.7	Relaciones de atenuación	60
	3.7.1 Relaciones de atenuación para terremotos de corteza superficial	60
	3.7.2 Relaciones de atenuación para terremotos de la zona de subducción	62
3.8	Peligro de aceleraciones máximas	63
	3.8.1 Zonificación del peligro de rotura superficial	65
	3.8.2 Peligro por rotura superficial en el Gran Mendoza	65
3.9	Zonificación para el diseño estructural	68
3.10	Espectros de respuesta y de diseño para el área del Gran Mendoza	70
	3.10.1 Espectros de respuesta	70
	3.10.2 Espectros de diseño	72
3.11	Resumen	74

CAPÍTULO 4. TERREMOTOS DE FALLA O CAMPO CERCANO

4.1	Introducción	75
4.2	Actividad sísmica superficial. Fuentes potenciales	77
4.3	Características más relevantes de los terremotos asociados a de falla cercana	80
	4.3.1 Dirección de ruptura	80
	4.3.2 Orientación del pulso	82
	4.3.3 Caracterización de los terremotos de campo cercano	84
	4.3.4 Influencia sobre los espectros de respuestas	86
	4.3.5 Respuesta estructural asociada a terremotos de falla cercana	90
4.4	Terremotos seleccionados para evaluar la respuesta estructural	93
4.5	Resumen	97

CAPÍTULO 5. ESTADO ACTUAL DEL ARTE EN LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO SÍSMICO

5.1	Introducción	100
5.2	Evolución en el uso de los sistemas de aislamiento sísmico	104
5.3	Códigos	116
5.4	Marco y formulación teórica del aislamiento sísmico	120
5.4.1	Teoría lineal del aislamiento sísmico. Funciones de transmisibilidad	120
5.4.2	Teoría no lineal del aislamiento sísmico	129
5.4.2.1	Métodos monolíticos de integración paso a paso	129
5.4.2.2	Métodos de iteración por bloque	130
5.4.3	Teoría del aislamiento sísmico de base aplicada a edificios de varios grados de libertad	132
5.4.4	Influencia del amortiguamiento en la respuesta de los sistemas con aislamiento sísmico	133
5.4.5	Clasificación de los sistemas de control en la respuesta sísmica	141
5.4.6	Dispositivos más frecuentemente utilizados en proyectos de aislamiento sísmico de base	144
5.4.6.1	Aisladores friccionales	144
5.4.6.2	Aisladores a base de sistemas pendulares (FPS)	146
5.4.6.3	Aisladores elastoméricos a base de caucho natural o sintético (LRB)	148
5.4.6.4	Aisladores elastoméricos friccionales (R-FBI)	150
5.4.6.5	Aislador de la Compañía Eléctrica de Francia (EDF)	151
5.4.6.6	Aislador Neozelandés (NZ)	152
5.4.6.7	Aislador deslizante elástico-friccional (SR-F)	153
5.4.6.8	Sistemas basados en resortes metálicos helicoidales	154
5.4.6.9	Otros sistemas de aislamiento sísmico	157
5.4.7	Aislamiento de base para terremotos de falla cercana	157
5.5	Resumen	161

CAPÍTULO 6. DESCRIPCIÓN Y DISEÑO ESTRUCTURAL DEL EDIFICIO

6.1	Introducción	162
6.2	Características de los edificios destinados a dormitorios	163
6.2.1	Arquitectónicos	163
6.2.2	Estructurales	166
6.3	Resultados del diseño estructural de los edificios con base fija destinados a dormitorios. Espectros de diseños y Códigos utilizados	174
6.3.1	Estructura de fundación	182
6.3.1.1	Edificios con fundaciones tradicionales (Torre 1-2)	183
6.3.1.2	Edificio con aislamiento de base (Torre 3). Base corrida por debajo del sistema de aislamiento	184
6.4	Resumen	186

CAPÍTULO 7. DISEÑO Y RESPUESTA TEÓRICA DEL MODELO CON AISLAMIENTO SÍSMICO

7.1	Introducción	188
7.2	Diseño del sistema de aislamiento. Aisladores elastoméricos (NZ)	189
7.2.1	Parámetros globales de diseño del aislador	190
7.2.2	Rigidez lateral requerida	193
7.2.3	Estimación del desplazamiento máximo y de las dimensiones del aislador	194
7.2.4	Aislador de goma de alto amortiguamiento con núcleo de plomo (NZ)	196
7.2.5	Verificación de los parámetros geométricos de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (NZ)	201
7.2.5.1	Requerimientos de altura mínima	201
7.2.5.2	Deformación a carga vertical	202
7.2.5.3	Tensiones en la placa de acero	203
7.2.5.4	Verificación de las deformaciones límites	204
7.2.5.5	Incremento de desplazamiento por torsión	205
7.2.6	Verificación al vuelco del aislador (NZ)	206
7.2.7	Verificación al pandeo del aislador (NZ)	207

7.3	Diseño del sistema de aislamiento utilizando resortes metálicos helicoidales y amortiguadores visco elásticos (GCS)	211
7.4	Respuestas dinámicas teóricas del edificio con aislamiento sísmico	214
7.4.1	Modelo estructural, tipo de análisis	214
7.4.2	Respuesta estructural de los sistemas de aislamiento y su Comparación con el edificio de base fija	215
7.4.3	Influencia de la rigidez vertical del sistema (GCS) en la respuesta del conjunto aislado	254
7.4.4	Interacción suelo – estructura	259
7.5	Resumen	263

CAPÍTULO 8. DISCUSIÓN PRELIMINAR DE LOS RESULTADOS TEÓRICOS

8.1	Introducción	265
8.2	Conclusiones preliminares sobre los resultados teóricos dinámicos	266
8.2.1	Desplazamientos	266
8.2.2	Distorsiones de piso	266
8.2.3	Aceleraciones	267
8.2.4	Corte en la base del edificio y a nivel de sistema de aislamiento	268
8.2.5	Reacciones normales en la base del edificio y a nivel de Sistema de aislamiento	269
8.2.6	Solicitaciones en elementos estructurales de la superestructura	269
8.2.7	Ciclos de fuerza – deformación de los sistemas de aislamiento	270
8.2.8	Relaciones entre desplazamientos horizontales y verticales de los sistemas de aislamiento	270
8.2.9	Relaciones entre desplazamientos y aceleraciones horizontales de los sistemas de aislamiento	271
8.2.10	Relaciones entre desplazamientos horizontales de los sistemas de aislamiento	271
8.2.11	Aceleración y desplazamiento en función del amortiguamiento para el sistema (GCS)	272
8.2.12	Influencia de la rigidez vertical en la respuesta del sistema de aislamiento (GCS)	273
8.2.13	Interacción suelo – estructura	274

8.2.14	Terremotos utilizados en el diseño del sistema de aislamiento	275
8.3	Resumen	276
CAPÍTULO 9. CONSTRUCCIÓN DEL EDIFICIO. OBRAS CIVILES COMPLEMENTARIAS. MONTAJE DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO. INSTRUMENTACIÓN SÍSMICA		
9.1	Introducción	277
9.2	Construcción del edificio. Obras civiles complementarias	277
9.2.1	Estructura de fundación	277
9.2.2	Superestructura (torre 3)	282
9.2.2.1	Instalaciones	285
9.2.2.2	Circulaciones verticales (escaleras)	287
9.2.2.3	Cerramiento entre el edificio y los muros perimetrales del subsuelo	289
9.3	Montaje del sistema de aislamiento	292
9.4	Instrumentación sísmica	301
9.4.1	Tipo de instrumental y emplazamientos	301
9.5	Resumen	306
CAPÍTULO 10. REGISTROS SÍSMICOS. VALIDACIÓN DEL MODELO TEÓRICO		
10.1	Introducción	308
10.2	Registros sísmicos	309
10.3	Validación del modelo teórico	316
10.4	Resumen	321
CAPÍTULO 11. CONCLUSIONES		
11.1	Conclusiones generales	322
11.2	Conclusiones específicas	323
11.2.1	Conclusiones del análisis teórico	323
11.2.2	Conclusiones sobre los registros sísmicos disponibles	324
11.2.3	Conclusiones relacionadas con la propuesta de la tesis	325
11.3	Recomendaciones para futuros estudios	329
11.4	Reflexiones finales	329

REFERENCIAS	332
ANEXO A: Tablas	351
ANEXO B: Acelerogramas. Espectros y Pseudo espectros (terremotos utilizados en el diseño)	365
ANEXO C: Esquemas y detalles constructivos utilizados en la construcción de los edificios de la residencia universitaria de la Facultad Regional Mendoza. Universidad Tecnológica Nacional	445
ANEXO D: Tablas. Respuestas de los sistemas de aislamiento sísmico y del edificio de base fija para el modelo teórico	465
ANEXO E: Tablas de registros sísmicos. Acelerogramas (sismos registrados por el instrumental sísmico instalado)	491

LISTA DE FIGURAS

Figura	página
1.1 Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	6
1.2 Aisladores de resortes con amortiguadores visco elásticos	6
2.1 Localización de los epicentros de terremotos ocurridos a nivel mundial entre 1990 – 2000	11
2.2 Localización de los grandes terremotos ocurridos en el mundo a partir del año 1990	15
2.3 Principales placas tectónicas	16
2.4 Efectos del terremoto de San Francisco, California, 1906	18
2.5 Efectos del terremoto de Chile de 1960	18
2.6 Efectos del terremoto de Alaska, 1964	19
2.7 Efectos del terremoto de México, 1985	19
2.8 Efectos del terremoto de Tangshan, China, 1976	20
2.9 Efectos del terremoto de Gujarat, India, 2001	23
2.10 Efectos del terremoto de Gujarat, India, 2001	24
2.11 Efectos del terremoto de Hyogo – ken Nambu, Kobe, Japón, 1995	26
2.12 Efectos del terremoto de Northridge, California, Estados Unidos, 1995	27
2.13 Sistema de aislamiento sísmico utilizado en el puente de Marga – Marga, Chile	28
2.14 Efectos del terremoto de San Juan, Argentina, 1944	29
2.15 Pérdidas de vidas humanas en el periodo 1900 – 1998	31
2.16 Media anual de pérdidas de vidas humanas en el período 1900 – 1998	32
2.17 Pérdidas económicas en millones de dólares en el periodo 1900 – 1998	32
2.18 Construcciones sismorresistentes y no sismorresistentes del Gran Mendoza	33
2.19 Distribución de los niveles del daño en el Gran Mendoza	34
2.20 Distribución de los niveles del daño por Departamentos que conforman el Gran Mendoza	34
3.1 Mapa de sismicidad de la República Argentina	37
3.2 Principales terremotos ocurridos en la República Argentina	37
3.3 Intensidades máximas en la República Argentina	38
3.4 Zonificación sísmica de la República Argentina	38

Figura	página	
3.5	Convergencia de la placa Sudamericana y de Nazca	39
3.6	Subducción de la placa de Nazca con la Sudamericana	40
3.7	Perfil de buzamiento de la placa de Nazca con la Sudamericana	40
3.9	Fallas sísmicamente activas que afectan la zona del Gran Mendoza	42
3.10	Localización de las trazas durante las investigaciones geotécnicas para realizarse la microzonificación sísmica del Gran Mendoza	44
3.11	Aceleraciones instrumentales máximas con una probabilidad de excedencia del 10% en 20 años para roca y suelos firmes	46
3.12	Aceleraciones instrumentales máximas con una probabilidad de excedencia del 10% en 20 años, para suelos profundos	47
3.13	Focos sísmicos de la zona de subducción. Placa de Nazca y zona de Benioff entre los paralelos 32.5° a 33.5° S	47
3.15	Energía liberada por los sismos de focos intermedios ocurridos en la región durante el periodo 1956 - 1998	49
3.16	Epicentros de los sismos ocurridos en la Provincia de Mendoza durante el periodo 1956 – 1998	49
3.19	Relaciones Magnitud – Frecuencia	56
3.20	Probabilidad de ocurrencia	57
3.21	Probabilidad de “n” eventos en 50 años	58
3.23	Espectros de respuestas medios para terremotos de la zona de subducción	62
3.24	Valores medios de aceleración horizontal máxima, para roca y suelo firme, con 10% de probabilidad de excedencia en 10 años	63
3.25	Valores medios de aceleración horizontal máxima, para roca y suelo firme, con 10% de probabilidad de excedencia en 20 años	63
3.26	Valores medios de aceleración horizontal máxima para, roca y suelo firme, con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años	64
3.27	Valores medios de aceleración horizontal máxima para, roca y suelo firme, con 10% de probabilidad de excedencia en 250 años	64
3.31	Propuesta de zonificación para el diseño estructural	70
3.32	Espectros de respuesta normalizado recomendado por la microzonificación sísmica del Gran Mendoza para el diseño estructural	72

Figura	página
3.3 Espectros de diseño recomendado por el reglamento Inpres – Cirsoc 103	73
4.1 Emplazamiento de las fuentes sísmicas potenciales del centro oeste argentino	78
4.3 Emplazamiento de la falla “Cerro de la Cal” en relación al Gran Mendoza	78
4.4 Foto aérea de la traza de la falla “Cerro de la Cal”	78
4.5 Localización de la traza de la falla “Cerro de la Cal” en el sector urbano de la ciudad de Mendoza	79
4.6 Dirección de ruptura hacia delante (<i>foward directivity</i>)	81
4.7 Dirección hacia delante y hacia atrás en el terremoto de Lander, 1992	82
4.8 Dirección del pulso dinámico y del desplazamiento permanente	83
5.1 Sistema de aislamiento de base del Dr. Calantarients	101
5.2 Planos originales del sistema de conexión propuesto en los esquemas del Dr. Calantarients	102
5.3 Aislador friccional, modelo FPS	106
5.4 Aislador friccional de péndulo invertido	107
5.5 Evolución de los sistemas de aislamiento sísmico en Italia	111
5.6 Aplicaciones a nivel mundial de los sistemas de aislamiento sísmico	115
5.7 Evolución de las aplicaciones en Japón y China	116
5.8 Esquema básico del aislamiento sísmico	120
5.10 Variación de la transmisibilidad “T” en un vibrador de un grado de libertad para amortiguamiento viscoso	124
5.11 Modelo de 2 GDL para representar la estructura aislada	125
5.12 Representación de un amortiguador viscoso	134
5.13 Influencia del factor de amortiguamiento “ β_d ” en los valores de aceleración de piso	138
5.14 Variación del desplazamiento en función del factor de amortiguamiento	140
5.15 Variación de la aceleración en función del factor de amortiguamiento	140
5.16 Idealización “ <i>fuerza – deformación</i> ” de un dispositivo con comportamiento típico elasto – plástico	141
5.17 Sistemas para controlar las fuerzas sísmicas	142

Figura	página
5.18 Sistemas para controlar el amortiguamiento	142
5.19 Sistemas para controlar las masas	142
5.20 Sistemas para controlar el movimiento del suelo	143
5.21 Sistemas pasivos de control de energía	143
5.22 Sistemas activos de control de energía	143
5.23 Sistemas exteriores de disipación de energía	143
5.24 Sistemas interiores de disipación de energía	143
5.25 Esquema genérico de un dispositivo utilizado para aislamiento sísmico de base tipo friccional	144
5.26 Esquema genérico de un aislador pendular friccional	146
5.27 Ensayo de un aislador pendular friccional realizado en mesa vibradora que muestra los ciclos histeréticos de carga - deformación	147
5.28 Esquema genérico de un aislador elastomérico a base de goma reforzada	148
5.29 Ensayo de un aislador de goma de alto amortiguamiento que muestra el comportamiento histerético	149
5.30 Esquema genérico de un aislador elastomérico friccional	150
5.31 Esquema genérico de un aislador de la Compañía eléctrica de Francia	151
5.32 Esquema genérico de un aislador neocelandés	152
5.33 Modelo histerético de la relación fuerza – desplazamiento de un aislador elastomérico con núcleo de plomo	153
5.34.a Paquetes de resortes metálicos GERB	155
5.34.b Amortiguadores viscoelásticos GERB (Visco)	155
5.35 Esquema general de los polos de rotación del sistema de aislamiento GERB para los modos pendulares	155
5.36 Relación lineal entre la fuerza máxima de amortiguamiento y el valor máximo de la velocidad	156
6.1 Planimetría general del complejo de la residencia universitaria a nivel de Planta Baja	163
6.2 Vista de las tres torres destinadas a dormitorios	163
6.3 Corte – Vista general del complejo de la residencia de estudiantes	163
6.4 Planta tipo de arquitectura del edificio de la residencia de estudiantes destinada a dormitorios	165

Figura	página
6.5 Residencia Universitaria. Aspectos arquitectónicos de los edificios destinados a dormitorios	165
6.6.a Estructura de fundación de torre 3	166
6.6.b Detalle de base corrida utilizada como estructura de fundación en las torres destinadas a dormitorios (sección central)	167
6.6.c Detalle de base corrida utilizada como estructura de fundación en las torres con aislamiento sísmico (sección donde se emplaza el sistema de aislamiento sísmico)	167
6.6.d Planta que muestra el engrosamiento de la viga de fundación en la zona de emplazamiento del sistema de aislamiento. Ubicación de las platinas de anclaje del sistema de aislamiento en viga de fundación	168
6.7.a Esquema general de la disposición del sistema de aislamiento sísmico en la torre 3 (corte transversal)	168
6.7.b Esquema general de la disposición del sistema de aislamiento sísmico en la torre 3 (corte longitudinal)	169
6.7.c Esquema general de las platinas de fijación de los aisladores de resortes metálicos helicoidales y de los amortiguadores viscoelásticos (sistema Gerb Control System)	169
6.7.d Esquema general del amortiguador viscoelástico	170
6.8 Detalles generales de las placas prefabricadas utilizadas como losas de entrepisos y de cubierta de techo	170 - 171
6.9.a Estructura de Planta Baja	171
6.9.b Planta de estructura del 1º nivel	172
6.9.c Planta de estructura del 2º nivel	172
6.10.a Disposición de armaduras en vista de muros sismorresistentes	173
6.10.b Armaduras alojadas en juntas de muros sismorresistentes (corte)	173
6.10.c Armaduras alojadas en juntas de muros sismorresistentes (vista superior)	173
6.11 Modelo 3D de elementos finitos utilizado para el análisis	174
6.15 Espectros elásticos del CCSR-87 para los tres tipos de suelos definidos por el código	177
6.16 Espectros elásticos del INPRES – CIRCOC 103 para los tres tipos de suelos definidos por el código	178

Figura	página
6.21 Espectro elástico e inelástico según CCSR-87 para suelo tipo 2	181
6.22 Espectro elástico e inelástico según INPRES – CIRSOC 103 para suelo tipo II	182
7.1 Disposición en planta del sistema de aislamiento	189
7.2 Constitutiva no lineal del aislador elastomérico con núcleo de plomo	197
7.4 Desplazamiento lateral y acciones sobre un aislador elastomérico	206
7.5 Reducción del área transversal del aislador en compresión	209
7.7 Desplazamientos horizontales en función de la altura del edificio	216 - 217
7.9 Distorsiones de piso, modelo: base fija y sistema de aislamiento NZ	219 - 220
7.10 Desplazamiento horizontales relativos por rotación a nivel del sistema de aislamiento GCS	222
7.11 Variación de la aceleración con la altura del edificio	223 a 224
7.17 Relaciones fuerza – deformación para el sistema NZ	230 a 231
7.18 Relaciones fuerza – deformación para el sistema GCS	233
7.19 Relaciones entre desplazamientos horizontales-verticales. Sistema NZ	234 - 235
7.20 Relaciones entre desplazamientos horizontales-verticales. Sistema GCS	235 - 236
7.21 Relaciones entre desplazamientos horizontales y aceleraciones horizontales del sistema NZ	237 a 239
7.22 Relaciones entre desplazamientos horizontales y aceleraciones horizontales del sistema GCS	240 - 241
7.25 Desplazamiento máximo como componente de ambos desplazamientos	243
7.26 Variación de los desplazamientos máximos en las dos direcciones principales (sistema NZ)	244 - 245
7.27 Variación de los desplazamientos máximos en las dos direcciones principales (sistema GCS)	246 - 247
7.30 Relación entre desplazamientos horizontales (sistema NZ)	249 - 250
7.31 Relación entre desplazamientos horizontales (sistema GCS)	250 - 251
7.32 Variación de la aceleración absoluta en la superestructura en función del amortiguamiento del sistema de aislamiento	253
7.33 Variación de los desplazamientos en la superestructura en función del amortiguamiento del sistema de aislamiento	254

Figura	página
7.34 Modos pendulares con la ubicación de los polos superiores e Inferiores del edificio con el sistema GCS	255
7.37 Modo 4 del caso de estudio I – 0; $f = 3.22$ Hz (0.3106 seg.)	258
9.1 Trabajos de excavaciones para alojar la estructura de fundación del edificio con aislamiento sísmico (torre 3)	278
9.2 Disposición de las armaduras de las bases corridas y vigas de fundación incorporadas	278
9.3 Ubicación y armaduras del dado de hormigón armado donde se apoya la superestructura del edificio durante la etapa de construcción. Estructura de fundación hormigonada	279
9.4 Montaje de las platinas de anclaje del sistema de aislamiento	280
9.5 Control en obra del posicionamiento del montaje de las platinas de anclaje del sistema de aislamiento	281
9.6 Disposición de armaduras del tabique perimetral del subsuelo	281
9.7 Huecos en el tabique perimetral del subsuelo para el ingreso de instalaciones y box de ingreso	282
9.8 Conducción de desagües de líquidos al pozo de absorción a nivel de piso del subsuelo	282
9.9 Posicionamiento de las armaduras de las vigas y columnas por encima del sistema de aislamiento	283
9.10 Vigas, losas y columnas ubicadas inmediatamente por encima del sistema de aislamiento	283
9.11 Trabajos de mampostería, losa del 1º nivel y estructura vertical del edificio con aislamiento sísmico (torre 3)	284
9.12 Recorrido de las instalaciones de desagües primarios, secundarios, gas y agua a nivel de losa de planta baja (por encima del sistema de aislamiento)	286
9.13 Conexiones flexibles de instalaciones	286
9.14 Conexión flexible de la acometida de gas	287
9.15 Los dos cuerpos de escaleras que apoyan sobre el edificio con aislamiento sísmico	287

Figura	página
9.16 Detalle de las ménsulas de apoyo de las escaleras metálicas en el encuentro con el edificio con aislamiento sísmico	288
9.17 Intervenciones post construcción realizadas en obra para desacoplar las escaleras del movimiento del edificio con aislamiento sísmico	289
9.18 Cerramiento de chapa reforzada entre el edificio y el tabique de hormigón armado del subsuelo	290
9.19 Topes de control de desplazamientos horizontales del edificio con aislamiento sísmico	291
9.20 Edificio (torre 3) en la etapa constructiva previo al montaje del sistema GCS	292
9.21 Trabajos previos al montaje del sistema de aislamiento. Remoción de estructura metálica provisoria, limpieza de platinas y bulones de anclaje	293
9.22 Posicionamiento del sistema de aislamiento previo a proceder a levantar el edificio	294
9.23 Posicionamiento de los gatos durante el proceso de levantar el edificio para insertar el sistema de aislamiento GCS	295
9.24 Etapa de ascenso y control de la verticalidad del edificio	296
9.25 Algunos factores que incidieron sobre el fracaso de levantar el edificio	297
9.26 Etapas de posicionamiento del sistema de aislamiento en su posición final y de descenso del edificio	298-299
9.27 Eliminación de los bulones de precompresión del aislador de resortes helicoidales metálicos para liberar el movimiento	300
9.29 Esquema con la ubicación en planta y altura del instrumental de adquisición de datos	303
9.30 Base de hormigón simple para fijar los sensores externos y el Altus K2	304
9.31 Instalaciones para el tendido e inspección de los cables de los sensores	304
9.32 Tendido de cables y conexiones de los sensores externos	305
9.33 Coberturas metálicas de protección de los sensores externos	305
9.34 Central de adquisición de datos	306

Figura		página
B-401 a B-417	Historia de aceleraciones en las tres componentes de los terremotos seleccionados para el análisis	366 a 382
B-418 a B-434	Espectro y pseudoespectro de aceleración. Espectro de desplazamiento de los terremotos seleccionados para el análisis	383 a 399
B-435 a B-451	Historia de velocidades en las tres componentes de los terremotos seleccionados por el análisis	400 a 416
B-452 a B-468	Espectro y pseudoespectro de velocidad de los terremotos seleccionados para el análisis	417 a 433
B-469 a B-479	Historia de desplazamiento en las tres componentes de los terremotos seleccionados para el análisis	434 a 444
C06-01	Secciones y detalle de disposición de armaduras en vigas de fundación no incorporadas a bases corridas	447
C06-02	Esquema de disposiciones de armaduras en vigas y columnas	447
C06-03	Disposiciones de armaduras en vigas de acoplamiento de muros de mampostería	448
C06-04	Disposiciones de armaduras en losas macizas del sector húmedo de las torres	448
C06-05	Detalle de disposición de armaduras en columnas de hormigón armado	449
C06-06	Detalle de disposición de armaduras en vigas de hormigón armado	449
C06-07	Detalle de disposición de armaduras en vigas de hormigón armado	450
C06-08	Detalle de disposición de armaduras en vigas de hormigón armado	450
C06-09	Detalle de disposición de armadura en dado de hormigón armado donde apoya el edificio en la etapa de construcción	451

Figura		página
C06-10	Detalle de disposición de armaduras en vigas de fundación ubicada por debajo del sistema de aislamiento, tramo central	452
C06-11	Detalle de disposición de armaduras en vigas soporte de la superestructura, ubicada por encima del sistema de aislamiento, tramo central	452
C06-12	Detalle de disposición de armaduras en vigas de fundación ubicada por debajo del sistema de aislamiento, tramo donde se emplaza el sistema de aislamiento	453
C06-13	Detalle de disposición de armaduras de vigas soporte de la superestructura, ubicadas por encima del sistema de aislamiento, tramo donde se emplaza el sistema de aislamiento	448
C06-14	Disposición en planta del emplazamiento de las escaleras y sus dos tipologías	454
C06-15	Esquema de vigas de arranque y columnas metálicas de escalera	454
C06-16	Detalle de disposición de armaduras en vigas de fundación donde arrancan las vigas metálicas de las escaleras	455
C06-17	Detalles de la conexión de las escaleras metálicas a los edificios y en particular para la torre con aislamiento sísmico	455 – 456
E-18 a E-31	Acelerogramas en formato cualitativo de doce canales, de los sismos registrados por el instrumental sísmico instalado	498 a 504
E-32 a E-36	Historia de aceleraciones en las tres componentes de algunos sismos registrados por el instrumental sísmico	505 a 509

LISTA DE TABLAS

Tabla	página
3.8 Fallas sísmicamente activas que afectan el área del Gran Mendoza	41
3.14 Energía liberada por los terremotos ocurridos en la región durante el periodo (1956 – 1998)	48
3.17 Terremotos más importantes que afectaron el Gran Mendoza	52
3.18 Características de las fuentes potenciales sísmicas del Gran Mendoza	52
3.22 Aceleraciones máximas para fallas cercanas	61
3.28 Propuesta de zonificación del peligro de rotura superficial por fallamiento	67
3.29 Valores de aceleraciones efectivas para cuatro acelerogramas del terremoto de Mendoza del 26/01/1985	69
3.30 Aceleraciones efectivas para los tres niveles de aceleraciones máximas para la zona del Gran Mendoza	69
4.2 Características fundamentales de las fuentes sísmicas potenciales del centro oeste argentino	78
4.9 Relaciones de (PGV/PGA) y (PGD/PGV) para algunos terremotos de falla cercana	87
4.10 Comparación de los anchos de las zonas sensibles a las aceleraciones de algunos terremotos de fuente cercana con los fijados por el reglamento norteamericano UBC	88
4.11 Parámetros de los principales registros del centro – oeste argentino	93
4.12 Listado de los terremotos seleccionados para evaluar la respuesta del edificio con aislamiento sísmico de base y sus principales características	95
4.13 Clasificación del tipo de suelo según USGS	96
5.9 Valores límites de la función de transmisibilidad “T” para amortiguamiento viscoso	123
6.12 Pesos del edificio	175
6.13.a Determinación de los coeficientes de participación con la altura del edificio	176

Tabla	página
6.13.b Fuerza sísmica, momentos torsores en altura para el método estático valorado. Definición de masas traslacionales y rotacionales para el método dinámico	176
6.14 Combinaciones de carga consideradas en el análisis para evaluar la respuesta estructural del modelo con fundación tradicional	176
6.17 Valoración del factor de reducción global para la dirección de análisis [X]	179
6.18 Valoración del factor de reducción global para la dirección de análisis [Y]	180
6.19 Valores de la fuerza sísmica en altura como resultado del análisis dinámico modal cuando se utilizan espectros de respuestas	180
6.20 Comparación de las fuerzas sísmicas obtenidas con el método dinámico modal y el 75% del estático valorado (Art. 4.9.4.3. CCSR-87)	181
7.3 Resultados finales del proceso iterativo de las características de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	202
7.6 Características de los aisladores conformados por resortes metálicos helicoidales	213
7.8 Desplazamientos horizontales y verticales máximos a nivel del sistema de aislamiento	219
7.12 Cortes en la base del edificio para las tres situaciones estudiadas	226
7.13 Reacciones normales en la base del edificio para las tres situaciones estudiadas	226
7.14 Cortes máximos en una columna vértice ubicada encima del sistema de aislamiento	227
7.15 Momentos flectores máximos en una columna vértice ubicada encima del sistema de aislamiento	228
7.16 Esfuerzos normales máximos en una columna vértice ubicada encima del sistema de aislamiento	229
7.23 Desplazamientos máximos en cada componente transversal y el tiempo en el cual se producen (sistema NZ)	242
7.24 Desplazamientos máximos en cada componente transversal y el tiempo en el cual se producen (sistema GCS)	243

Tabla	página
7.28 Desplazamientos máximos en una dirección comparados con la dirección perpendicular en el mismo instante de tiempo (sistema NZ)	248
7.29 Desplazamientos máximos en una dirección, comparada con la dirección perpendicular en el mismo instante de tiempo (sistema GCS)	249
7.35 Modelos con variación de rigidez horizontal y vertical utilizados para el análisis	256
7.36 Variación de “ ξ ” para los modos P_i , P_s , M_v , M_t . Distancia al “CG” y frecuencias propias de los modos P_i y P_s .	257
7.38 Características del terreno de fundación, según el estudio de suelos	260
7.39 Diferencias porcentuales en los desplazamientos horizontales máximos, a nivel del sistema de aislamiento, cuando se considera la interacción suelo - estructura	262
7.40 Diferencias porcentuales en las aceleraciones horizontales máximas, por encima del sistema de aislamiento, cuando se considera la interacción suelo - estructura	263
7.41 Diferencias porcentuales en las aceleraciones horizontales máximas, a nivel del sistema de aislamiento, cuando se considera la interacción suelo - estructura	263
9.28 Emplazamiento de los distintos sensores que conforman el sistema de adquisición de datos	302
10.1 Listado de los sismos registrados por el instrumental sísmico instalado en la residencia de estudiantes al mes de enero de 2007	308
10.2 Comparativa entre aceleraciones registradas a nivel del sistema de aislamiento y las medidas inmediatamente por encima	310
10.3 Comparativa entre las aceleraciones registradas a nivel del sistema de aislamiento y el techo del edificio aislado	311
10.4 Comparativa entre las aceleraciones registradas a nivel del sistema de aislamiento y el techo del edificio con fundación tradicional	312
10.5 Comparativa de las aceleraciones registradas a nivel del techo del edificio con aislamiento sísmico y el techo del edificio con fundación tradicional	313
10.6 Desplazamientos relativos y rotaciones del edificio con aislamiento sísmico	315

Tabla		página
10.7	Comparativa de la respuesta en términos de aceleración para el edificio con aislamiento sísmico entre, los resultados obtenidos del modelo teórico y los realmente registrados por el instrumental sísmico	317
10.8	Comparativa de la respuesta en términos de desplazamientos para el edificio con aislamiento sísmico entre, los resultados obtenidos del modelo teórico y los realmente registrados por el instrumental sísmico	318
10.9	Comparativa de la respuesta en términos de aceleración para el edificio con fundación tradicional entre, los resultados obtenidos del modelo teórico y los realmente registrados por el instrumental sísmico	319
10.10	Comparativa de la respuesta en término de desplazamientos para el edificio con fundación tradicional entre, los resultados obtenidos del modelo teórico y los realmente registrados por el instrumental	320
A.I	Listado de terremotos ocurridos en el mundo desde el siglo XI a la fecha	352 a 357
A.II	Riesgos de desastres por terremotos en el periodo 1800 – 2000	358 a 359
A.III	Pérdidas económicas producidas por los terremotos de California en el periodo 1979 - 1994	360
A.IV	Listado de terremotos históricos ocurridos en Argentina Desde 1962 a 1993	361 a 364
C06-18	Secciones geométricas y demandas en columnas (nivel 1 y 2)	457
C06-19	Armaduras en columnas (nivel 1 y 2)	458
C06-20	Capacidades y armaduras de corte en columnas (nivel 1 y 2)	459
C06-21	Demandas en vigas (nivel fundaciones y 1)	460
C06-22	Demandas en vigas (nivel 2 y 3)	461
C06-23	Armaduras en vigas (nivel fundaciones y 1)	462
C06-24	Armaduras en vigas (nivel 2 y 3)	463
C06-25	Verificación de la capacidad de los muros de mampostería sismorresistentes	464

Tabla		página
D-01	Rutina de iteración para el diseño de aisladores con núcleo de plomo. Programa Matlab	466
D-02	Desplazamientos del edificio de base fija	467 - 468
D-03	Desplazamientos del edificio con aislamiento de base. Sistema NZ	469 - 470
D-04	Desplazamientos del edificio con aislamiento de base. Sistema GCS	471 - 472
D-05	Distorsiones de piso del edificio de base fija	473 - 474
D-06	Distorsiones de piso del edificio con aislamiento de base. Sistema NZ	475 - 476
D-07	Desplazamientos horizontales relativos por rotación a nivel del sistema de aislamiento para el sistema GCS	477 - 478
D-08	Aceleraciones del edificio con base fija	479 - 480
D-09	Aceleraciones del edificio con aislamiento sísmico. Sistema NZ	481 - 482
D-10	Aceleraciones del edificio con aislamiento sísmico. Sistema GCS	483 - 484
D-11	Aceleraciones y desplazamientos en función del amortiguamiento para el sistema GCS	485 - 486
D-12	Desplazamientos del edificio con aislamiento de base para el sistema GCS cuando se considera la interacción suelo - estructura	487 - 488
D-13	Aceleraciones del edificio con aislamiento de base para el Sistema GCS cuando se considera la interacción suelo - estructura	489 - 490
E-01 a E-17	Picos de aceleración, velocidad y desplazamientos junto a los tiempos de ocurrencia para los sismos registrados por el instrumental instalado	492 a 497

LISTA DE SIMBOLOS

a, b :	Constantes asociadas al área sísmica en estudio.
$a_{m\acute{a}x}$:	Aceleraciones máximas correspondiente a una probabilidad de excedencia del 10 % en 20 años.
\bar{a} :	Aceleración máxima de la masa (m)
\bar{a}_g :	Aceleración máxima absoluta del terreno
A_s :	Requerimiento de armaduras en estado de servicio
A_{s+e} :	Requerimiento de armaduras en estado último
A_t :	Sección transversal de un aislador elastomérico
a_i, b_i :	Dimensiones en planta del edificio aislado
A_i :	Sección transversal del núcleo de plomo en un aislador elastomérico
A_r :	Sección transversal neta de goma en un aislador elastomérico
B_D :	Factor definido por la NCh 2745 según el valor del amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento
b_f :	Parámetro que controla la variación del coeficiente de fricción en función de la velocidad
c :	Coficiente de amortiguamiento
c_b :	Coficiente de amortiguamiento viscoso del sistema de aislamiento
c_s :	Coficiente de amortiguamiento viscoso de la superestructura
C_s :	Matriz de amortiguamiento de la estructura
c_c :	Amortiguamiento critico
c_{eq} :	Amortiguamiento viscoso equivalente
C_o :	Coficiente de zona (riesgo zonal) (CCSR-87)
C_{xx}, C_{yy} :	Coficientes sísmicos de la construcción para el método estático valorado (CCSR-87)
C_D, C_M :	Factor definido por la NCh 2745 según el tipo de suelo
d :	Diámetro de la espira de un resorte
d_b :	diámetro de una barra de acero
d_p :	Diámetro del núcleo de plomo de un aislador elastomérico

D :	Diámetro de un aislador elastomérico
D_D :	Desplazamiento de diseño según NCh 2745
D_M :	Desplazamiento máximo según la NCh 2745
D_{TD}, D_{TM} :	Desplazamientos del conjunto aislado cuando se consideran efectos torsionales (NCh 2745)
D_{max} :	Desplazamiento máximo en la constitutiva de carga – deformación de un aislador elastomérico con núcleo de plomo
E_d :	Energía disipada por un amortiguador viscoso lineal
$E_{viscoso}$:	Energía disipada por amortiguamiento viscoso
$E_{Coulomb}$:	Energía disipada por amortiguamiento de Coulomb o de fricción en seco
E_{fluido} :	Energía disipada por amortiguamiento por fluido
E_c :	Módulo de compresión confinado de un aislador elastomérico
E :	Módulo de elasticidad longitudinal de la goma
E_b :	Módulo efectivo a flexión de un aislador elastomérico
e_s :	Distancia medida en planta entre el centro de masa de la superestructura y el centro de rigidez del sistema de aislamiento
F_N :	Vector de pseudo fuerzas
F_y :	Fuerza de fluencia en la constitutiva de carga – deformación de un aislador elastomérico con núcleo de plomo
F_{max} :	Fuerza máxima para deformación máxima en la constitutiva de carga – deformación de un aislador elastomérico con núcleo de plomo
F_{sx}, F_{sy} :	Fuerzas sísmicas estáticas equivalentes (CCSR-87)
F_{pi} :	Factor de participación del modo “ i ” (CCSR-87)
$F_{ve-max,min}$:	Fuerzas en un amortiguador visco elástico
$f_{(x)}$:	Fuerzas no lineales
g :	Aceleración de la gravedad
G :	Módulo de corte
G_r :	Módulo de corte de la goma
h_s :	Altura libre de un resorte
h_i :	Altura de un nivel “ i ” del edificio.
H :	Profundidad del estrato de terreno en estudio

H_t :	Altura total de un aislador elastomérico (láminas de goma + planchas de acero)
H_r :	Altura total de las láminas de goma en un aislador elastomérico
I :	Momento de inercia
k :	Rigidez del sistema
K_a :	Rigidez de la superestructura
K_b :	Rigidez del sistema de aislamiento
K_s, K_o :	Matriz de rigidez de la estructura
K_d :	Rigidez posfluencia en la constitutiva de carga – deformación de un aislador elastomérico con núcleo de plomo
K_{eff} :	Rigidez efectiva de un aislador elastomérico
K_{min} :	Rigidez lateral mínima de un aislador elastomérico
K_l :	Rigidez elástica del plomo
K_r :	Rigidez elástica de la goma
K_u :	Rigidez total de un aislador elastomérico con núcleo de plomo
K_{vc} :	Rigidez vertical del aislador elastomérico con núcleo de plomo
L :	Factores de participación modal
L_x, L_y :	Dimensiones en planta del edificio
m :	Masa
m_b :	Masa del sistema de aislamiento
m_s :	Masa de la superestructura
m_{tot} :	Sumatoria de las masas del edificio
M :	Magnitud sísmica
M_t :	Masa total (sistema de aislamiento más superestructura)
M_o :	Matriz de masa del edificio
M_{tx}, M_{ty} :	Momentos torsores de un nivel “ i ” del edificio
M_{max} :	Demandas en términos de momentos flectores máximos
M_u :	Capacidad a flexión del elemento
M_e :	Demanda en términos de momentos flectores en base corrida en estado de servicio
M_{e+s} :	Demanda en términos de momentos flectores en base corrida en estado último
n :	Número de espiras activas de un resorte

N :	Número de sismos de una determinada magnitud
N_n :	Fuerza normal en la interfase de la aislación
$P_{(u>z(t))}$:	Probabilidad de que la amplitud del movimiento del terreno, en un determinado lugar, exceda un nivel previamente especificado.
P_D :	Potencial destructivo
PGA :	Aceleración máxima del terremoto
PGV :	Velocidad máxima del terremoto
PGD :	Desplazamiento máximo del terremoto
P_e :	Carga reactiva en el ala de la base corrida en estado de servicio
P_{e+s} :	Carga reactiva en el ala de la base corrida en estado último
p :	Carga normal sobre un aislador elastomérico
P_E :	Carga euleriana
P_{cr} :	Carga crítica
$P_{cr(eff)}$:	Carga crítica efectiva
Q_i :	Peso de un nivel “ i ” del edificio
Q_d :	Fuerza máxima para deformación cero en la constitutiva de carga – deformación de un aislador elastomérico con núcleo de plomo
R_e :	Radio de la superficie esférica de un aislador friccional
R :	Factor de reducción global por comportamiento inelástico (según CCSR-87)
R_i :	Factor de reducción para el modo “ i ” por comportamiento inelástico (según CCSR-87)
R_u :	Rigidez lateral unitaria
s :	Coefficiente de influencia del suelo (CCSR-87)
s_{max}, s_{min} :	Valores máximos y mínimos de “ s ” definidos por código (CCSR-87)
S_{ai} :	Valor espectral del modo “ i ” (CCSR-87)
s :	Cociente entre el área cargada y el área libre para deformar en un aislador elastomérico
t :	Intervalo de tiempo
t_o :	Duración del registro
t_r :	Espesor de una lámina de goma de un aislador elastomérico
t_s :	Espesor de una placa de acero de un aislador elastomérico

T :	Amplitud de la transmisibilidad
T_{sec} :	Periodo secante de un aislador friccional
T_o :	Periodo propio o fundamental del edificio.
T_1, T_2 :	Periodos asociados al espectro elástico definido por código según el tipo de suelo (CCSR-87)
T_i :	Periodo del sistema amortiguado
T_θ :	Rigidez flexional unitaria
$T_{p-elastic}$:	Periodo elástico del primer modo del terreno de fundación
U :	Amplitud del movimiento del suelo
\ddot{u}_g :	Aceleración del suelo
\bar{u}_g :	Desplazamiento máximo absoluto del suelo
\dot{u}_g :	Velocidad del suelo
u_b :	Desplazamiento absoluto del sistema de aislamiento
u_s :	Desplazamiento absoluto de la superestructura
\ddot{u}_b :	Aceleración del sistema de aislamiento
\ddot{u}_s :	Aceleración de la superestructura
\dot{u}_b :	Velocidad del sistema de aislamiento
\dot{u}_s :	Velocidad de la superestructura
V_o :	Número de cruces por cero por segundo o intensidad de cruces por cero del registro de aceleraciones
V_{max} :	Demandas en términos de esfuerzos de cortes máximos
V_b :	Fuerza sísmica lateral bajo el sistema de aislamiento
V_s :	Fuerza sísmica lateral por encima del sistema de aislamiento
V_c :	Velocidad de onda de corte
ω :	Frecuencia de la excitación exterior
ω_o :	Frecuencia propia del sistema
ω_b :	Frecuencia natural del sistema de aislamiento
ω_s :	Frecuencia natural de la superestructura
ω_1 :	Frecuencia natural del modo 1

ω_2 :	Frecuencia natural del modo 2
W :	Fuerza normal sobre el patín de un aislador friccional
W_e :	Peso total del edificio
\bar{x} :	Desplazamiento máximo de la masa (m)
x_o :	Amplitud del desplazamiento
\dot{x} :	Velocidad del sistema
x :	Desplazamiento del sistema
ν :	Frecuencia media de ocurrencia de eventos con magnitud mayor o igual a “u”
Z, M_M :	Factor definido por la NCh 2745 según el riesgo sísmico
β_1 :	Amortiguamiento crítico correspondiente al modo 1
β_2 :	Amortiguamiento crítico correspondiente al modo 1
β_s :	Factor de amortiguamiento de la estructura
β_b :	Factor de amortiguamiento del sistema de aislamiento
ε :	Relación entre los cuadrados de las frecuencias naturales (ω_b, ω_s)
δ :	Desplazamiento del patín del aislador friccional
δ_o :	Deformación máxima en un aislador friccional
Δ_{ro} :	Capacidad de desplazamiento lateral de un aislador elastomérico
ε_u :	Distorsión angular máxima de un aislador elastomérico en estado último
$\varepsilon_{c(est)}$:	Deformación normal en un aislador elastomérico en estado de servicio
$\varepsilon_{c(din)}$:	Deformación normal en un aislador elastomérico en estado último
ϕ :	Ángulo de roce medido entre la normal a la superficie y la dirección de la reacción sobre el cono de fricción en un aislador friccional
φ :	Forma modal
γ :	Relación entre la masa de la superestructura (m_s) y la masa total (M)
γ_d :	Coefficiente de destino de la construcción (CCSR-87)
γ_{du} :	Coefficiente de ductilidad de la estructura (CCSR-87)
γ_e :	Coefficiente de estructura (CCSR-87)
γ_{vi} :	Coefficiente de vinculación interna (CCSR-87)
$(\gamma_s)_o$:	Distorsión angular máxima de un aislador elastomérico asociada, al corte
$(\gamma_b)_o$:	Distorsión angular máxima de un aislador elastomérico asociada, a la flexión

$(\gamma_c)_o$:	Distorsión angular máxima de un aislador elastomérico, asociada a la compresión
μ :	Coefficiente cinético de fricción
μ_{max} :	Coefficiente de fricción a velocidades altas
μ_{min} :	Coefficiente de fricción a velocidades cercanas a cero
Ω :	Relación entre la frecuencia de la excitación exterior y la frecuencia propia del sistema
$\sigma_{c(est)}$:	Tensión normal en un aislador elastomérico en estado de servicio
$\sigma_{c(din)}$:	Tensión normal en un aislador elastomérico en estado último
σ_{te} :	Capacidad de carga del terreno en estado de servicio
σ_{te+s} :	Capacidad de carga del terreno en estado último
σ_s :	Tensiones normales en las placas de acero de un aislador elastomérico
τ_e :	Esfuerzos de corte en estado de servicio
τ_{e+s} :	Esfuerzo de corte en estado último
ξ, β :	Factor de amortiguamiento crítico
ξ_{eq}, ξ_{eff} :	Amortiguamiento equivalente de un aislador elastomérico

RESUMEN

La Argentina posee gran parte de su territorio expuesto al peligro sísmico. La ocurrencia de terremotos destructivos produjeron daños en las construcciones, pérdidas económicas y vidas humanas. El mismo resultado se observa, de manera sistemática, en otros países donde han ocurridos terremotos destructivos. El capítulo 2 de la tesis pone de manifiesto esta problemática aún no solucionada por muchos países, entre ellos Argentina. El empleo de técnicas innovativas utilizadas en países desarrollados y vecinos (Chile) permitirían mitigar la vulnerabilidad de las obras de ingeniería emplazadas en zonas de alto riesgo sísmico. El capítulo 3 y 4 de la tesis ponen en evidencia el alto riesgo sísmico del Gran Mendoza y el elevado poder destructivo de los terremotos asociados a falla cercana o de focos superficiales.

Los sistemas de aislamiento sísmico es una de las técnicas no tradicionales para reducir el riesgo sísmico. La tipología de las técnicas de aislamiento tienen incidencia sobre la respuesta del edificio aislado, principalmente cuando los terremotos son superficiales o asociados a falla cercana. El capítulo 5 de la tesis expresa las distintas topologías de aisladores utilizados y el importante auge que tiene actualmente los sistemas de aislamiento a nivel mundial, menos en Argentina.

Uno de los objetivos del trabajo es la construcción de un edificio provisto de un sistema de aislamiento sísmico. El edificio pertenece a una de las tres torres que conforman los dormitorios de la residencia de estudiantes de la Facultad Regional Mendoza de la UTN. Se realiza el diseño del edificio con y sin aislamiento sísmico, se prepara la totalidad de la documentación técnica, se gestionan los permisos municipales, se realizan las obras, incluidas el sistema de aislamiento y el instrumental sísmico, y se realiza el control de la construcción en todos sus instancias. Los detalles de cada una de las tareas mencionadas se desarrollan en los capítulos 6, 7 y 9.

Existen pocos antecedentes sobre las respuestas de construcciones con aislamiento sísmicos sometidas a terremotos de falla cercana o focos superficiales, además muchas de ellas son contradictorias. En el diseño de los sistemas de aislamiento y para los terremotos anteriores, el control de los desplazamientos es importante. El valor del amortiguamiento del sistema de aislamiento tiene incidencia en la respuesta, no solo en términos de desplazamientos, sino también en términos de aceleración. El presente trabajo de investigación estudia la incidencia

del mismo en la respuesta del conjunto aislado. La presente conclusión junto con otras obtenidas del estudio teórico de las respuestas, se desarrollan en el capítulo 8.

Como hipótesis se sostiene que el hecho de introducir elementos de baja capacidad a fuerzas horizontales, entre la estructura y la fundación, es posible aumentar el periodo del conjunto aislado en relación al mismo edificio pero con fundación tradicional. Los sistemas de aislamiento poseen baja rigidez horizontal, situación que provoca una reducción de las aceleraciones y fuerzas inerciales en la superestructura, a expensas de aumentar los desplazamientos laterales (Capítulo 8 y 11).

La Provincia de Mendoza posee antecedentes sobre la ocurrencia de terremotos con importantes pulsos de aceleración, velocidad y desplazamiento, característicos de los sismos de falla cercana. Con el objeto de controlar los desplazamiento debidos a la presencia de dichos pulsos, se plantea como segunda hipótesis que la adición de amortiguamiento es una alternativa posible y económica para evitar sistemas de aislamiento de importantes dimensiones. Por ejemplo, para controlar valores altos de desplazamientos del conjunto aislado las dimensiones que requerirían los aisladores elastoméricos resultarían significativas, situación que se debe reflejar en las obras complementarias y en los espacios necesarios para desarrollar el proyecto (Capítulo 7, 8 y 11).

Para el diseño del sistema de aislamiento se realiza un estudio teórico a través de un modelo 3D de elementos finitos sometidos a diecisiete terremotos de falla cercana, se evalúa la respuesta en término de desplazamientos, distorsiones de piso, desplazamientos, aceleración y demandas en algunos elementos estructurales de la superestructura. Los resultados obtenidos se comparan entre dos sistemas posibles de aislamiento utilizados y para el mismo edificio pero con fundación tradicional (Capítulo 7).

Los resultados encontrados indican la conveniencia del uso de sistemas de aislamiento frente a otros edificios emplazados en la misma zona, de las mismas características arquitectónicas y estructurales, pero de base fija. Los resultados indican respuestas aleatorias, posiblemente debidas a las características de los terremotos seleccionados para realizar el diseño, situación asociada con el mecanismo de falla del sitio. Las conclusiones sobre dicho aspecto, junta a otras logradas de la validación del modelo teórico (capítulo 10), se desarrollan en el capítulo 11 de la tesis.

ABSTRACT

Argentina has a big part of its territory exposed to seismic risk. The occurrence of destructive earthquakes generates damage in the construction, economic and human losses. Systematically the same result occurs in other countries. Chapter 2 of this thesis confirms that this problem has not been solved neither by Argentina nor by other countries. The innovative technique used in developed countries and in other regional countries (Chile) will allow to mitigate vulnerability of engineering works situated in areas with high seismic risk. Chapter 3 and 4 evidence the high seismic risk of Mendoza and the important destructive power of near source earthquakes or those with the superficial focus.

The isolation system is a non - traditional technique to reduce seismic risk. This kind of isolation system has an important incidence in isolation system response, especially for near - source earthquakes or those with the superficial focus. In Chapter 5, different types of isolation systems are included. It is stressed the outstanding world development of these systems with the exception of Argentina.

One of the objectives of this work is the construction of an isolated building which belongs to the student university residence of Faculty Mendoza, UTN. Building designs with and without isolation systems we carried out, total technical documentation was prepared, municipal acceptance was arranged, finally the whole process of building is carried out with the inclusion of the isolation systems and seismic instruments. Chapter 6, 7 and 9 include all data related to the process.

There is little information about response of isolated buildings submitted to near source earthquake, in addition many are contradictory. Displacement control is very important in design isolation systems for near - source earthquakes. The damping isolation system has influence on the response, no only in displacement, but also in acceleration. This investigation studies damping influence on response isolation buildings and the conclusions are included in Chapter 8.

The first hypothesis, to insert devices with low horizontal force capacity between structure and foundation, could increase the period of isolated building, compared to the same building with traditional foundation. This process reduces acceleration, but increases lateral displacement.

Mendoza has a past history of the earthquakes occurrence with important pulses acceleration, velocity and displacement, characteristic of near - source earthquakes; so the second hypothesis holds that damping addition is both an economic and convenient alternative to reduce isolation system dimensions and to control those pulses (chapter 7, 8 and 11).

For the isolation system design a theoretical study is carried with 3D finite element model, submitted to seventeen near source earthquakes. Displacement, story drift, acceleration and demand in some structural elements are studied. The results are compared between two isolation systems for the same building but with traditional foundation (Chapter 7).

The results suggest the convenience of using the isolation system compared with other building situated in the same area but with traditional foundations.

The results of this investigation suggest aleatory responses, probably due to earthquake characteristics, used for isolation system design. The conclusions of this investigation and the theoretical model validation are included in Chapters 10 and 11.