

Capítulo 3

Condiciones geológicas locales y regionales

3.1. Introducción

La provincia de Mendoza y en particular el Gran Mendoza poseen pocos registros instrumentales significativos que puedan ser utilizados en la valoración de la respuesta dinámica del sistema de aislamiento de base. Algunos de los registros disponibles son el de Caucete, San Juan de 1977 y el de Mendoza de 1985, si bien los mismos son de bajo potencial destructivo. Por lo tanto es importante conocer en detalle la geología regional y local con el objeto de poder definir, con la mayor precisión posible, las características de los terremotos a seleccionar para el análisis.

Si se cuenta con datos sobre los distintos parámetros que definen el riesgo sísmico de la región, podrán utilizarse acelerogramas de terremotos ocurridos en otras partes del mundo, con elevada peligrosidad sísmica y que representen, en la mayor medida posible, los mecanismos de falla de la zona donde se emplaza el edificio con aislamiento de base. Los acelerogramas de tales terremotos serán utilizados para realizar un análisis de la respuesta en el dominio del tiempo, tanto del edificio con aislamiento sísmico como para el mismo edificio con fundación tradicional.

La selección de los terremotos se realiza mediante una evaluación de distintos parámetros tales como: características del fallamiento local, terremotos que afectaron la zona de emplazamiento del edificio, fuentes potenciales sísmicas de la región y peligro sísmico de la misma, relaciones de atenuación, aceleraciones máximas, peligro de rotura superficial y espectros de respuesta y de diseño aconsejados por los reglamentos vigentes.

3.2. Geología regional y local

La República Argentina posee una extensión continental de 1.850.000 Km², distintas ciudades del país han sufrido las consecuencias de terremotos destructivos. Los mismos han producido graves daños materiales y en algunos casos numerosas víctimas. (Anexo I. Tabla A.IV). El

país, por su gran extensión y escasa densidad de población en áreas afectadas por los terremotos, no posee una historia sísmica completa, sino que los datos existentes muchas veces son fragmentados y a veces parciales (INPRES, 1977).

Las zonas de fallamiento se manifiestan claramente con desplazamientos de cadenas montañosas, alineaciones de centros volcánicos y formación de valles transversales a las estructuras de fallas. Estudios realizados (INPRES, 1981) indican que en Argentina es posible establecer tres dominios, la zona norte, central y sur del país, cada uno de dichos dominios poseen caracterizaciones distintas en cuanto a la problemática sísmica. En la Fig. 3.1 se ilustran los epicentros de sismos ocurridos en la República Argentina, de ello puede inferirse el grado de sismicidad del país y su localización. En la Fig. 3.2. se observan los epicentros de los grandes terremotos ocurridos en el país y su correlación con la sismicidad del mismo.

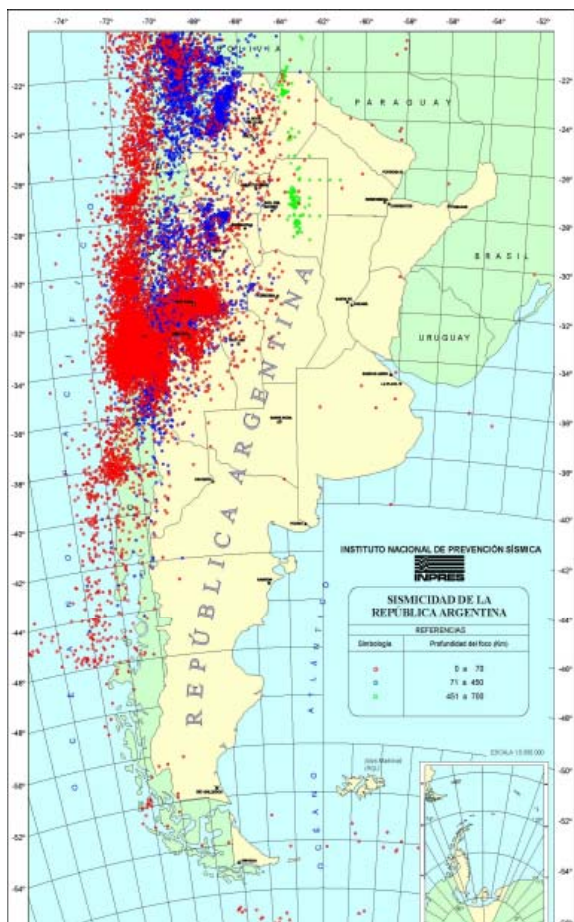


Fig. 3.1: Mapa de sismicidad de la República Argentina (Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica. San Juan. Argentina)

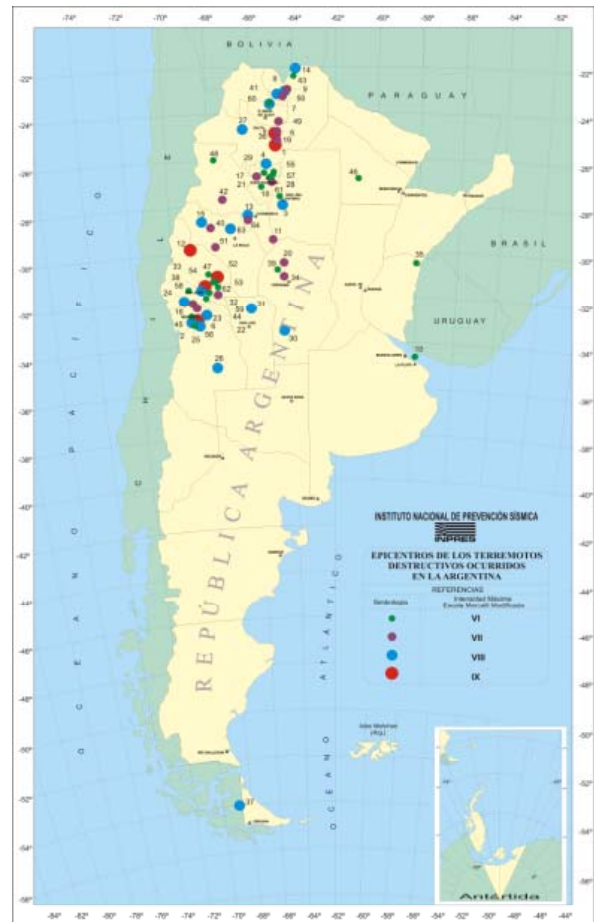


Fig. 3.2: Principales terremotos ocurridos en la República Argentina (Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica. San Juan. Argentina)

Con los datos de la sismicidad del país se han elaborado mapas de intensidades máximas (Fig. 3.3) y de zonificación sísmica (Fig. 3.4).

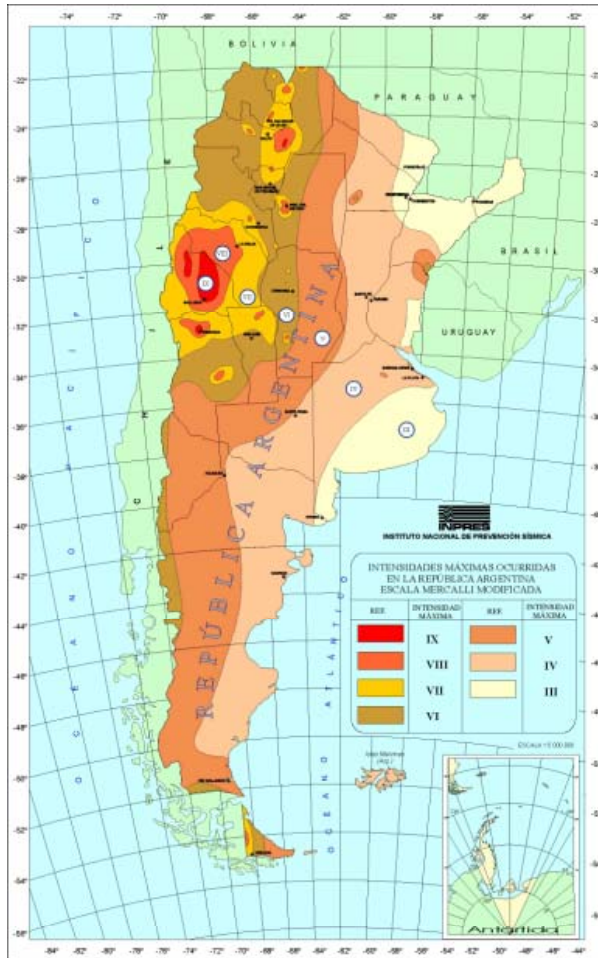


Fig. 3.3: Intensidades máximas en la República Argentina (Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica. San Juan. Argentina)

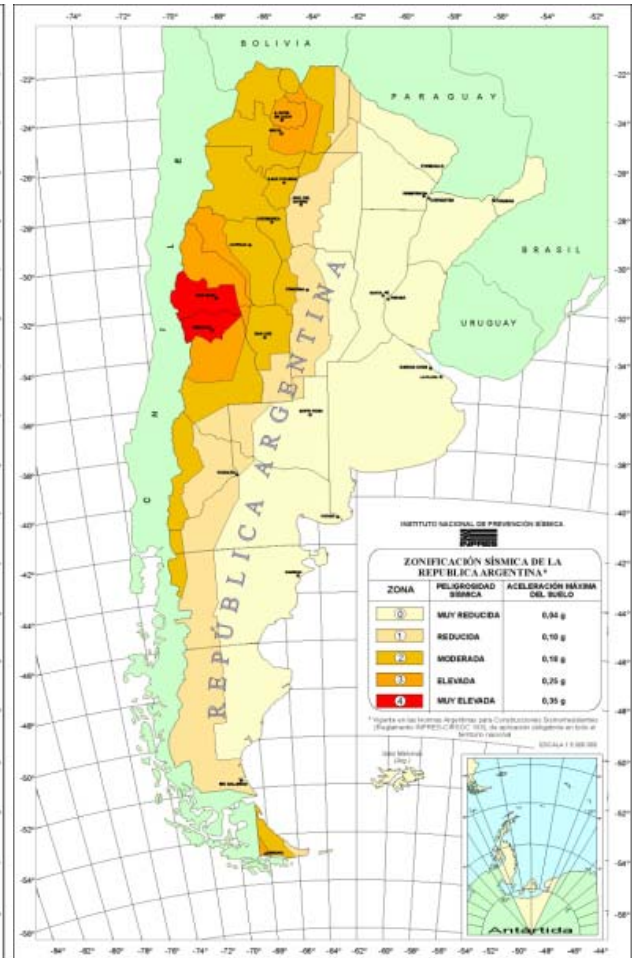


Fig. 3.4: Zonificación sísmica de la República Argentina (Fuente: Reglamento Inpres-Cirsoc 103, 1983)

Estudios geológicos realizados en la región donde se localiza el Gran Mendoza indican que la zona es sísmicamente activa (Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989). Dicha actividad está relacionada tectónicamente con la convergencia de las Placas Sudamericanas y de Nazca (Fig. 3.5). Esta última subduce debajo de la primera, la cual es activamente deformada a lo largo de su margen oeste, lo cual arroja como resultado estructuras geológicas activas, algunas de las cuales, por su localización, corresponden a fuentes sísmicas en y alrededor del Gran Mendoza (Fig. 3.6).

El marco tectónico regional y el régimen de esfuerzos en el área, están dominados por compresión este-oeste, como consecuencia de la cual resultan, generalmente, grandes plegamientos y fallas inversas con rumbo predominante norte-sur.

Los terremotos profundos que ocurren a lo largo de la placa de Nazca, que se introduce debajo de la placa Sudamericana, define una zona sísmica buzante notablemente regular llamada zona de Benioff. A mayores profundidades y por debajo de dicha zona (650 á 700 kilómetros), la placa ha sido completamente absorbida en el interior de la tierra, o sus propiedades han sido tan altamente alteradas que no es posible liberar más energía sísmica (Bolt B. 1981).



Fig. 3.5: Convergencia de la placa sudamericana y de Nazca (Fuente: Instituto Geográfico Nacional de España, 1992).

Además de las fuentes sísmicas superficiales, la actividad sísmica en la zona de Benioff, la cual se produce a una profundidad de entre los 100 y 120 Km., constituye otra fuente sísmica que afecta la zona. El área del Gran Mendoza se ubica sobre una zona de transición de la Placa de Nazca que tiene rumbo este-oeste. Hacia el norte del Gran Mendoza, la placa es casi horizontal, mientras que hacia el sur, su ángulo de buzamiento se orienta tanto hacia al sur

como hacia el este. En la Fig. 3.7, se indica el perfil de buzamiento de la Placa de Nazca debajo de la sudamericana desde el paralelo 20.9° S al 30.5° S.

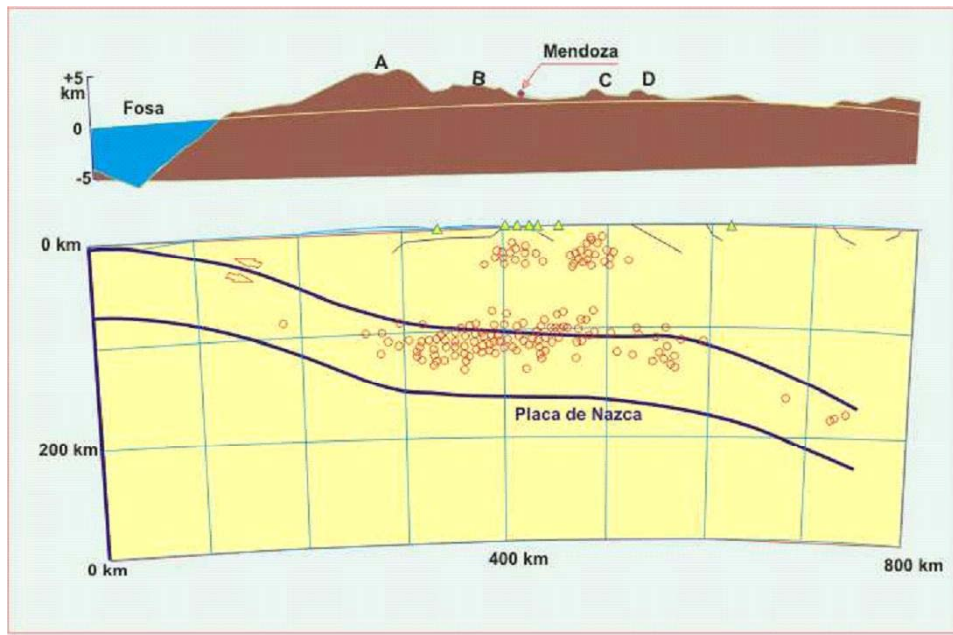


Fig. 3.6: Subducción de la Placa de Nazca con la sudamericana (Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989)

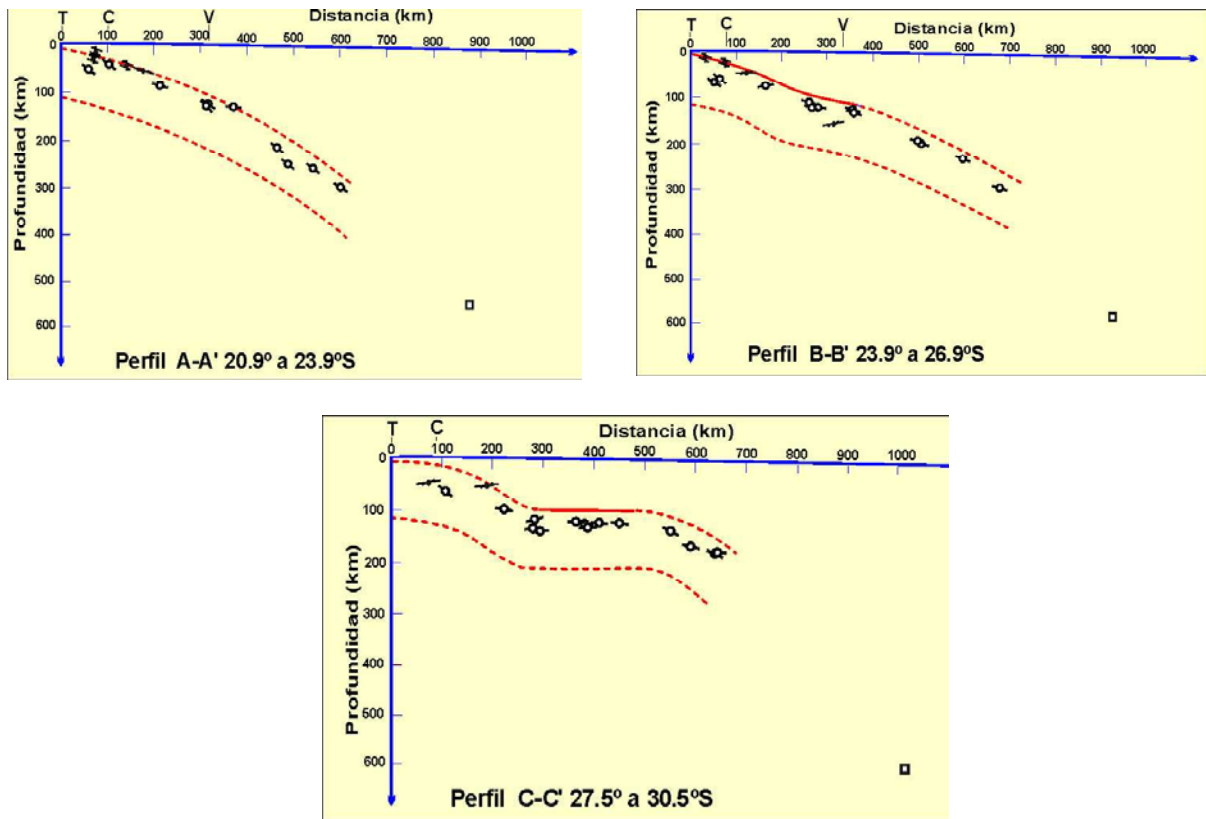


Fig. 3.7: Perfil de buzamiento de la Placa de Nazca con la Sudamericana (Fuente: Microzonificación sísmica del Gran Mendoza).

La actividad sísmica dentro de la Placa Sudamericana, en el área del Gran Mendoza, se extiende en profundidad, desde cerca de la superficie hasta los 30 a 40 Km.- Sobre la base de estudios de la geología superficial de la zona del Gran Mendoza (Microzonificación sísmica de la Provincia de Mendoza, 1989), fueron identificadas como sísmicamente activas las fallas enumeradas en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8: Fallas sísmicamente activas que afectan el área del Gran Mendoza

NÚMERO	DESIGNACIÓN
1	Falla del Cerro de la Cal - Calle Perú
2	Fallas del Cerro de la Gloria y del Cerro del Cristo
3	Falla del Melocotón
4	Fallas de Barrancas
5	Falla de Salagasta – Los Cerrillos.

A mayor distancias del Gran Mendoza, se ubican las fallas de ***Mariposa, Tupungato y Cordillera Frontal***. En la Fig. 3.9 se identifican las fallas que afectan la zona del Gran Mendoza y en particular las próximas al emplazamiento del edificio con aislamiento sísmico.

Las principales características de las fallas que afectan la zona de emplazamiento del edificio pueden resumirse en los aspectos siguiente:

a) La ***falla del Cerro de la Cal*** tiene rumbo norte-sur, extendiéndose, alrededor de 9 kilómetros, hacia el norte a partir del departamento de Las Heras con Capital, luego gira al NNO hasta pasar el Cerro de la Cal. La longitud total comprobada es de aproximadamente 30 Km. La falla se presenta en superficie mostrando una escarpa con frente hacia el este y buzamiento de 40 a 50° oeste, en aluvión casi moderno. La altura de la escarpa es de 2 a 3 metros.

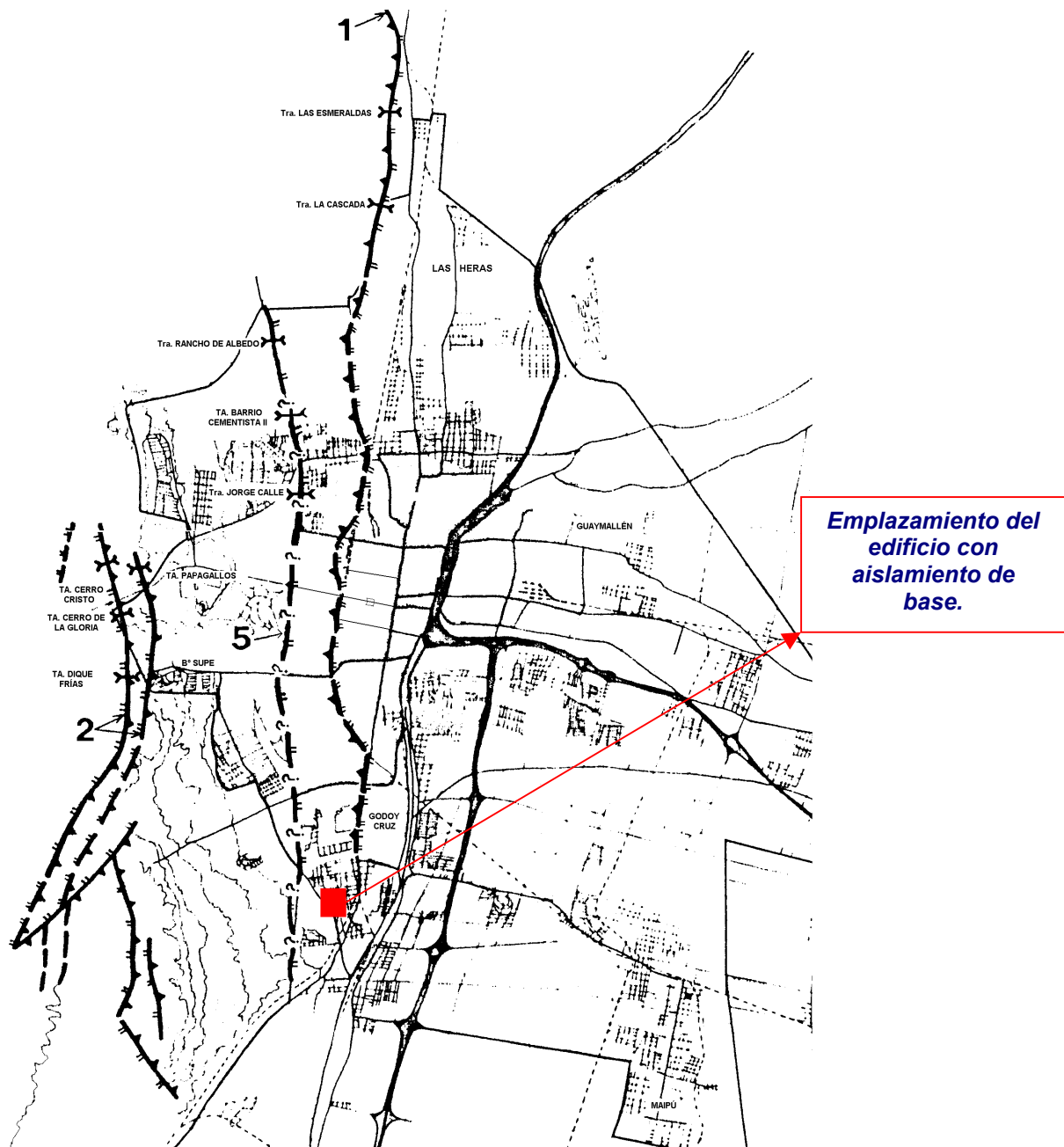


Fig. 3.9: Fallas sísmicamente activas que afectan la zona del Gran Mendoza.

- (1) Falla del Cerro la Cal – Calle Perú.
- (2) Falla del Cerro de la Gloria y Cerro el Cristo
- (5) Falla de Salagasta – Los Cerrillos

b) **Falla de calle Perú.** La ruptura lineal de pendiente a lo largo de calle Perú sigue el alineamiento indicado en la Fig. 3.9. Los perfiles topográficos realizados sobre la traza, permitieron interpretar, en una primera aproximación, que se trata de una escarpa de falla con

frente al este, la cual ha sido modificada por las actividades propias del desarrollo de la ciudad. La traza del quiebre de pendiente se alinea, hacia el norte, con la falla del Cerro de la Cal, por lo tanto dicha falla se la considera como una fuente sísmica localizada en el interior del Gran Mendoza. De verificarse la continuidad de la falla de calle Perú hacia el interior de la ciudad, el edificio con aislamiento de base estaría muy próximo a la misma, estimándose una distancia menor a cinco kilómetros.

c) **Las fallas del Cerro de la Gloria y del Cerro del Cristo** se encuentran ubicadas en el límite oeste de la ciudad de Mendoza a lo largo de los flancos oeste de los cerros de La Gloria y del Cristo. Son fallas paralelas a la cerrillada del piedemonte, inversas, algunas de alto y otras de bajo ángulo en superficie. Presentan sus planos buzando al este, con labio hundido al oeste, lo que desplazan estratos del cuaternario superior.

d) Las **fallas del Melocotón** se ubican cerca de la base de la precordillera, a unos 15 Km. al suroeste de la ciudad de Mendoza, y a unos 8 Km. al este del cerro Melocotón. Tiene rumbo norte-sur con una leve desviación al SSO. Son de tipo inverso, de bajo ángulo y con buzamiento hacia el oeste. Se caracterizan por una larga escarpa con frente al este, en materiales aluviales interpretados como del cuaternario tardío, probablemente del holoceno.

e) La **falla de Barrancas** se encuentra al sudeste del Gran Mendoza. En dicha zona se alinean una serie de anticlinales con rumbo prácticamente N-S. Uno de ellos, llamado **Anticlinal de Barrancas**, se localiza inmediatamente al sur del río Mendoza y aparece asociado al fallamiento activo. Dichos anticlinales muestran rasgos modernos (probablemente estén todavía en desarrollo), como limos no consolidados que lucen combados y deformados a lo largo del flanco este del pliegue. Los pliegues son asimétricos, con el lado este buzando en forma más pronunciada que el oeste.

f) La **falla de Salagasta – Los Cerrillos** está localizada al norte del Gran Mendoza. Comienza en las proximidades del extremo norte de la falla del Cerro de la Cal y se orienta con rumbo noreste. Es un sistema de fallas buzante al oeste, con un muy alto ángulo de buzamiento en superficie. Su expresión longitudinal en el cuaternario es visible en un tramo de alrededor de 400 Km. Posiblemente esté relacionada con otros sistemas de deformación observados en la zona (Borbollón-Capdevila o eventualmente, con el Cerro de la Cal).

3.2.1. Aspectos relevantes de la geología local para la tesis

Las trincheras y perfiles topográficos realizados en el sector norte y central del Gran Mendoza (Fig. 3.10) (Microzonificación Sísmica del Gran Mendoza, 1989), demostraron que los quiebres de pendiente que normalmente se localizan a lo largo de calle Perú, posiblemente corresponden a la continuación, hacia el sur, de la falla del Cerro La Cal. Esta última está expuesta en el sector noroeste del área en estudio y desplaza un aluvión joven a lo largo de una escarpa que mira hacia el este. Cerca del Cerro de La Cal, dicho desplazamiento es similar a la discordancia topográfica que se observa en los perfiles topográficos realizados en el interior de la ciudad sobre la calle Perú.

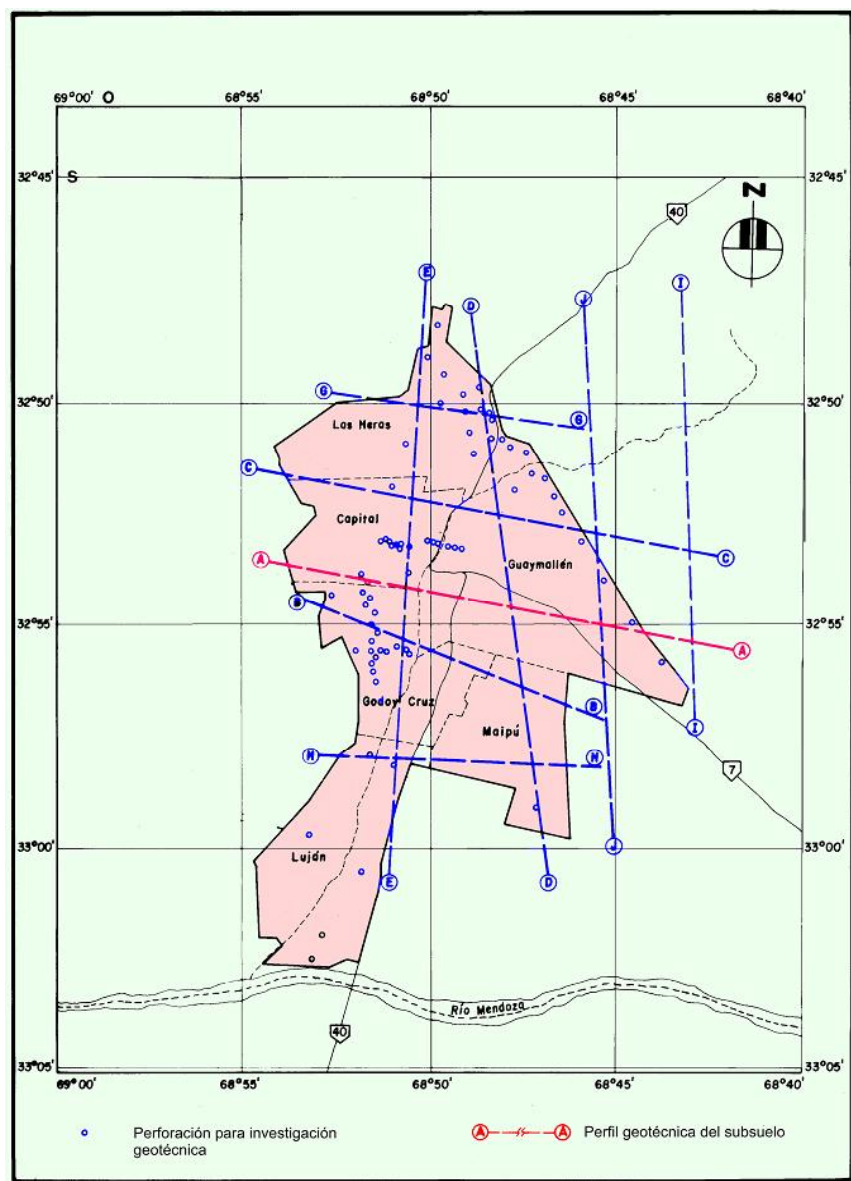


Fig. 3.10: Localización de las trazas durante las investigaciones geotécnicas para realizarse la microzonificación sísmica del Gran Mendoza (Fuente: Instituto Nacional de Prevención Sísmica. San Juan, Argentina)

La sismicidad superficial de la zona cercana al Gran Mendoza se presenta, generalmente, asociada con áreas que exhiben pliegues y fallas activas. No se observan alineaciones de actividad sísmica que definan con claridad planos de falla en profundidad, incluso para la secuencia de réplicas del terremoto de Mendoza ocurrido en enero de 1985.

La mayor contribución al peligro sísmico en el Gran Mendoza proviene de la sismicidad de las fuentes superficiales o de corteza y fundamentalmente de la falla de la Cal – Calle Perú. Por otro lado, la contribución de la sismicidad de la Placa de Nazca es prácticamente uniforme en toda la región estudiada y tiene relativamente escasa importancia en sitios con suelos firmes y superficiales. Sin embargo su contribución al peligro sísmico total adquiere mayor importancia en sitios con suelos profundos, particularmente para niveles bajos e intermedios del movimiento del terreno.

Los estudios de microzonificación sísmica del Gran Mendoza (1989), permitieron el trazado de curvas de aceleración instrumental máxima para distintas probabilidades de excedencia. Los niveles de aceleración instrumental, con una probabilidad de excedencia del 10% en 20 años (que son los que se recomiendan como aceleración máxima más probable a los fines del diseño sismorresistente de estructuras convencionales), oscilan entre 0.30g y 0.40g. para la zona del Gran Mendoza.

Los valores mayores (0.40g) corresponden principalmente a los Departamentos de Capital, Las Heras y una pequeña zona de Guaymallén (sector noreste del Departamento) Fig. 3.11 y 3.12. Los datos de aceleración definidos en el citado estudio representan un antecedente importante por cuanto permiten definir las aceleraciones máximas de los terremotos esperados en la región. Si bien la aceleración del terremoto no es el único parámetro que controla la respuesta estructural, es una medida a tener en cuenta para la selección de los terremotos a utilizar en el análisis para predecir la respuesta del modelo teórico.

Antecedentes históricos e instrumentales sobre sismos ocurridos en la Provincia de Mendoza indican que al sur del paralelo 34°, la distribución de focos sísmicos muestra actividad superficial e intermedia desde el límite con Chile hasta el meridiano 68°. Desde dicho meridiano hacia el este disminuye sensiblemente la actividad intermedia, aparecen algunos focos superficiales en longitudes próximas a la ciudad de San Rafael (Silva et al, 2000). Al norte del paralelo 34° se observa la penetración de la placa de Nazca bajo la sudamericana en

una franja de cerca 200 Km. de ancho y con un ángulo próximo a los 16° , luego muestra una tendencia a horizontalizarse a partir del meridiano 69° , con una notable disminución de la actividad intermedia hacia el este a partir de los 68° .

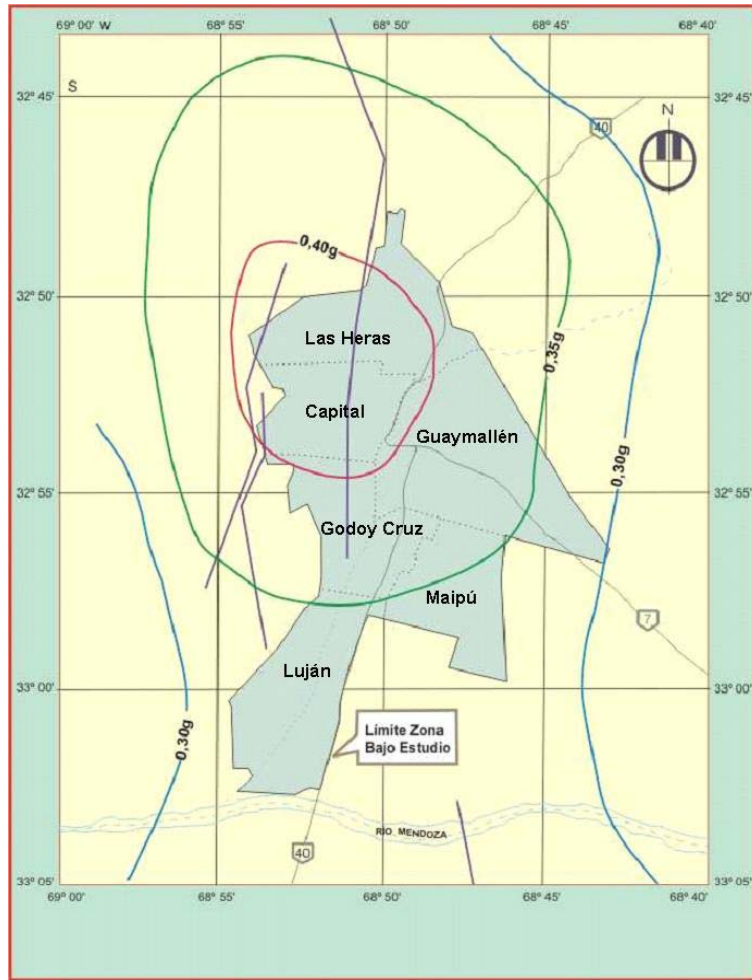


Fig. 3.11: Aceleraciones instrumentales máximas con una probabilidad de excedencia del 10% en 20 años para roca y suelos firmes (Fuente: Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989).

De mucha mayor importancia para el núcleo urbano del Gran Mendoza resulta la actividad sísmica con focos superficiales e intermedios, comprendida entre los paralelos 32.5° y 33.5° latitud sur (Silva et al, 2000). En la Fig. 3.13 puede observarse la distribución de focos sísmicos en profundidad, entre los paralelos citados, de las dos fuentes sísmicas que afectan el Gran Mendoza. En dicha gráfica se aprecia la importante actividad sísmica superficial que afecta la región, aspecto éste relevante a tener en cuenta en la selección de los terremotos a utilizar en el diseño del sistema de aislamiento de base y su posterior evaluación de la respuesta.

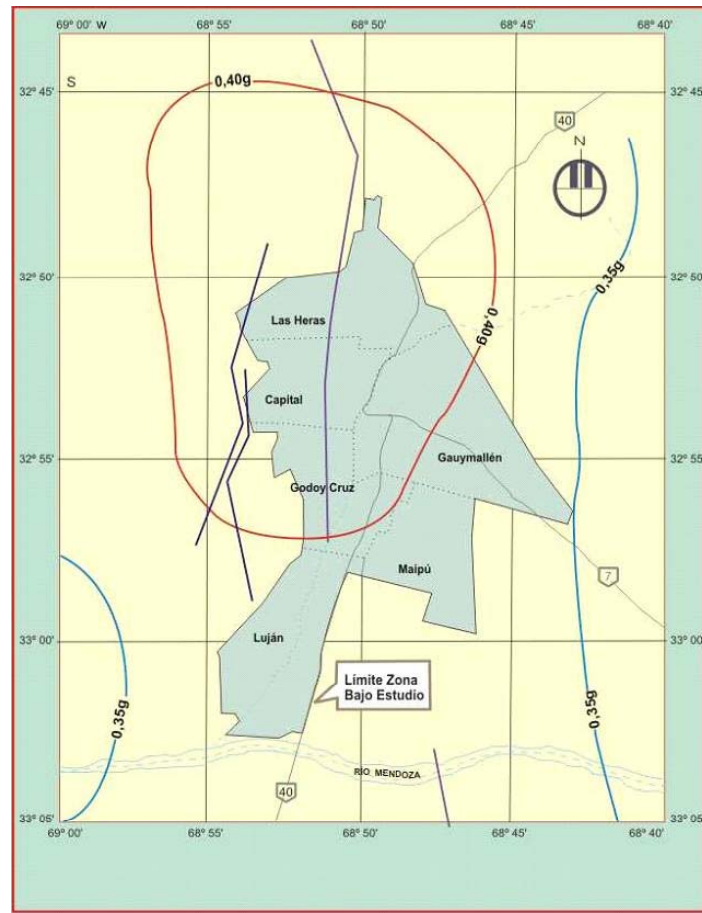


Fig. 3.12: Aceleraciones instrumentales máximas con una probabilidad de excedencia del 10% en 20 años para suelos profundos (Fuente: Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989).

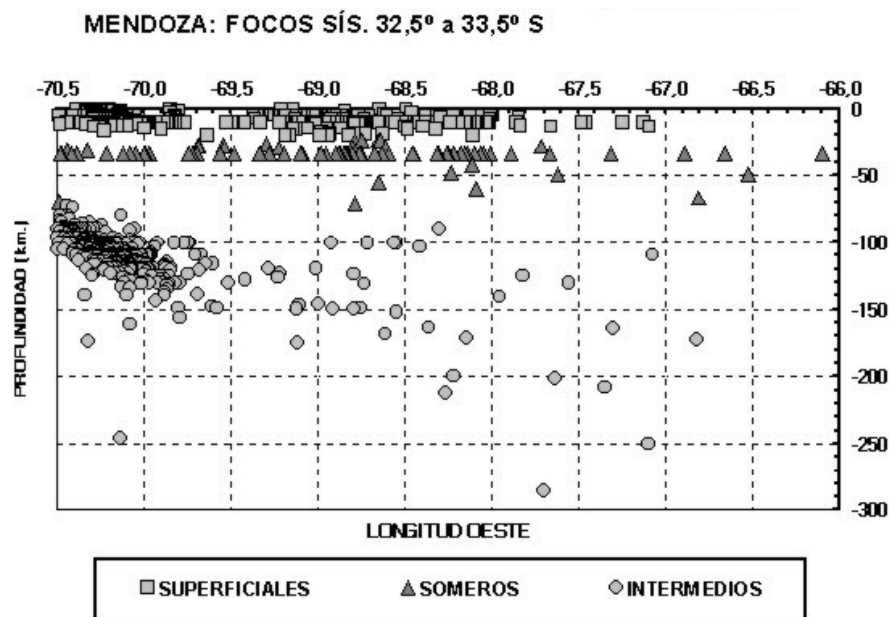


Fig. 3.13: Focos sísmicos de la zona de subducción. Placa de Nazca y Zona de Benioff entre los paralelos 32.5° a 33.5° S. (Fuente Silva et al, 2000).

Trabajos realizados para evaluar el grado de sismicidad de la región (Silva et al, 2000) estudiaron la cantidad de energía liberada por los terremotos ocurridos en el área desde el año 1956 al 1998. La liberación de energía en la zona no es constante pero sus valores indican un alto grado de sismicidad (Tabla 3.14). El 90% de la energía sísmica liberada en la región corresponde a la zona ubicada al norte del paralelo 34° S.

Tabla 3.14: Energía liberada por los terremotos ocurridos en la región durante el periodo 1956-1998 (Fuente Silva et al, 2000).

Periodo (años)	Energía x 10¹³ (ergios)
1956 – 1960	1.262.000.000
1961 - 1965	2.180.000
1966 - 1970	15.970.000
1971 - 1975	7.525.000
1976 - 1980	8.340.000
1981 - 1985	23.390.000
1986 - 1990	10.117.000
1991 - 1995	1.175.000
1996 - 1998	2.569.000
TOTAL	1.333.266.000

En la Fig. 3.15 puede observarse, para sismos de focos intermedios, la distribución por áreas de la liberación de energía en el territorio de la Provincia de Mendoza.

En la Fig. 3.16 se indican los epicentros de los sismos (superficiales, someros e intermedios) ocurridos en el periodo 1956 a 1998 para el territorio de la Provincia de Mendoza. En dicha figura puede observarse que la mayoría de los epicentros se concentran al norte del paralelo 34° S y en especial en el área conocida como el Gran Mendoza.

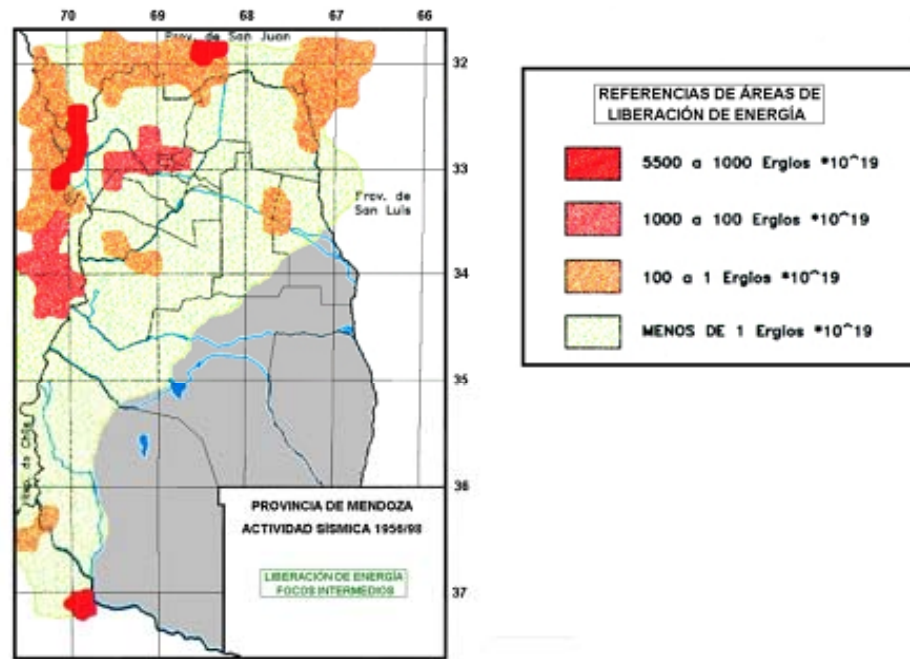


Fig. 3.15: Energía liberada por los sismos de focos intermedios ocurridos en la región durante el periodo 1956-1998 (Fuente Silva et al, 2000).

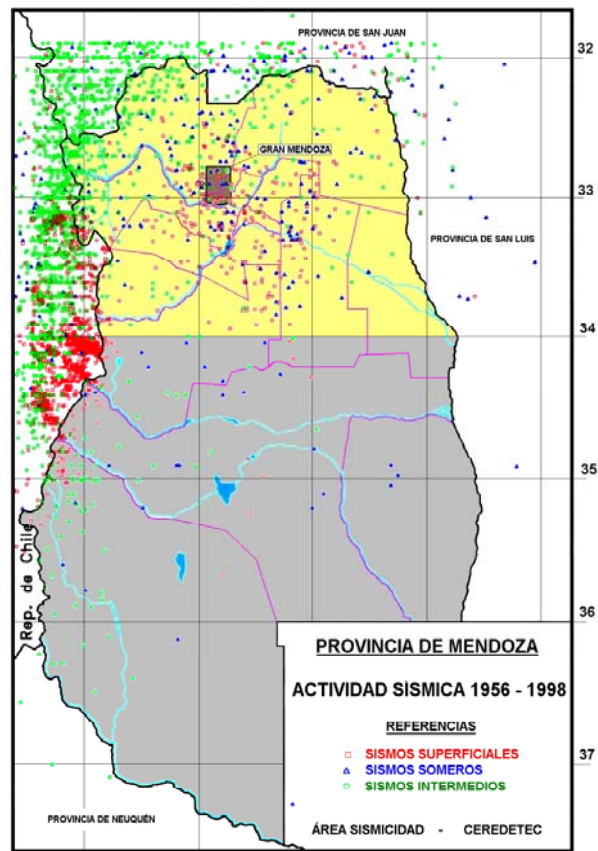


Fig. 3.16: Epicentros de sismos ocurridos en la Provincia de Mendoza durante el periodo 1956-1998 (Fuente Silva et al, 2000).

3.3. Fallas activas que interesan a la zona de emplazamiento del edificio con aislamiento de base

El edificio con aislamiento de base se emplaza en proximidades de la falla de calle Perú (distancia menor a 5 Km.). Algunos códigos actuales que reglamentan el diseño de sistemas de aislamiento y en particular el Uniform Building Code (UBC, 1997), imponen el control de un desplazamiento mayorado del sistema de aislamiento cuando el mismo se encuentra emplazado próximo a la falla. Frente a dicha situación es necesario definir con cierta exactitud las características de la falla de calle Perú.

En la microzonificación sísmica de la ciudad de Mendoza (1989), el término de “*fallas activas*” se emplea para designar fallas, segmentos de fallas o sistemas de fallas a lo largo de los cuales se han producido desplazamientos relativos o ruptura de superficie, acompañados de terremotos moderados o intensos durante el periodo Holoceno, es decir durante los últimos 10.000 años aproximadamente. Las fallas activas son importantes por dos razones fundamentales: primero porque son fuentes potenciales de terremotos destructivos y segundo porque son fuentes potenciales de ruptura superficial.

Para definir el terremoto máximo asociado a la falla se han estudiado las anomalías en los registros geológicos y sismológicos recientes, conjuntamente con el intervalo de recurrencia de los terremotos. Una de las anomalías observadas en la región es la escasa ruptura superficial después de la mayoría de los terremotos superficiales que ocurrieron en la región del Gran Mendoza. Existen otras anomalías que no son significativas para los objetivos de la presente tesis.

La ruptura lineal de pendiente a lo largo de la calle Perú, sigue el alineamiento general de las antiguas vías del ferrocarril General San Martín (falla 1 de la Fig. 3.9), a través del sector central y norte del Gran Mendoza. Tanto los perfiles topográficos, ejecutados sobre éste alineamiento, como los perfiles del subsuelo realizados para definir la microzonificación (Fig. 3.10) muestran una aceptable consistencia. En consecuencia se puede interpretar, en una primera aproximación, como una escarpa de falla con frente este que ha sido modificada principalmente por las actividades de desarrollo de la ciudad.

El trabajo de microzonificación sísmica indica que no fue posible excavar trincheras dentro de la ciudad misma debido a la infraestructura ferroviaria y vial existente, sin embargo, es importante señalar, que la traza del quiebre de pendiente se alinea hacia el norte con la falla del Cerro La Cal. En base a la información disponible se ha interpretado a la línea de ruptura de pendiente coincidente con la calle Perú, como la continuación hacia el sur de la falla del Cerro de la Cal y, en consecuencia se la considera como una fuente sísmica localizada en el interior del Gran Mendoza. En la bibliografía consultada (Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989) se reconoce que la falla de calle Perú es una fuente sísmica localizada dentro del Gran Mendoza, pero en ningún momento la define como una falla sísmicamente activa.

La falla del Cerro de la Cal es otras de las fuentes sísmicas que más expone al Gran Mendoza a los peligros sísmicos y geológicos asociados, es una falla de corrimiento migrado al este en unos 31 Km. que se prolonga en el sector norte del referido núcleo urbano por unos 10 Km. Dicho tramo urbano es posible que tenga algún tipo de relación estructural con otras estructuras locales debido a que su inicio se encontraría aproximadamente entre la terminación sur del sistema de pliegues cuaternarios Capdeville – Borbollón y la terminación norte del sistema de falla Cerro La Cal – El Cristo (Mingorance, 2003).

Otras fuentes sísmicamente activas (Tabla 3.8) que han sido descritas en el punto 3.2) del presente capítulo, se encuentran más alejadas de la zona de emplazamiento del edificio con aislamiento de base, por lo tanto, terremotos provenientes de dichas fuentes tendrán un impacto menor que aquellos derivados de fallas cercanas.

3.4. Terremotos importantes que afectaron el Gran Mendoza. Fuentes sísmicas

Con el objeto de definir los parámetros de magnitud, intensidad y profundidad de foco de los terremotos a seleccionar para realizar el análisis de la respuesta del edificio con aislamiento de base, es necesario conocer la historia sísmica de la región, las características de los terremotos que la afectaron y las fuentes sísmicas que generaron dichos eventos sísmicos. En tabla 3.17 se indican los terremotos más importantes ocurridos en el Gran Mendoza de acuerdo a los antecedentes históricos y a los registros obtenidos con instrumentos sísmicos. En tabla 3.18. se resumen las ocho fuentes sísmicas potenciales que interesan la región del Gran Mendoza junto a su magnitud máxima y periodo de recurrencia asociados.

Tabla 3.17: Terremotos más importantes que afectaron el Gran Mendoza

	<i>Fecha</i>		<i>Coordenadas</i>	<i>hipocentrales</i>		<i>Magnitud</i>	<i>I_{max}</i>
<i>Día</i>	<i>Mes</i>	<i>Año</i>	<i>Latitud (°S)</i>	<i>Longitud (°W)</i>	<i>H (km)</i>	<i>(Ms)</i>	<i>M.M.</i>
22	mayo	1782	33.0	69.2	30	7.0	VIII
20	marzo	1861	32.9	68.9	30	7.0	IX
19	agosto	1880					VII
12	agosto	1903	32.1	69.1	70	6.0	VIII
27	julio	1917	32.3	68.9	50	6.5	VII
17	diciembre	1920	32.7	68.4	40	6.0	VIII
14	abril	1927	32.5	69.5	110	7.5	VIII
26	enero	1985	33.1	68.8	12	5.9	VIII

Tabla 3.18: Características de las fuentes potenciales sísmica del Gran Mendoza

<i>Nº</i>	<i>Nombre de la fuente</i>	<i>Magnitud máxima (Ms)</i>	<i>Recurrencia (años)</i>
1	Cerro de la Cal – Calle Perú (Cerro de la Gloria) (Cerro El Cristo)	6 ³ / ₄ 6 ¹ / ₂ 6 ¹ / ₂	1300 12500 12500
2	Salagasta – Los Cerrillos (Mariposa)	7 ¹ / ₂	5000 50000
3	Barrancas	7	630
4	Melocotón	7	19000
5	Tupungato	7 ¹ / ₄	1000
6	Cordillera Frontal	7 ³ / ₄	5000
7	Nordeste de Mendoza (Fallas menores Sin expresión superficial)	6	210 años/ 1000 Km ²
8	Zona de Benioff	7 ¹ / ₂	15000 años/ 1000 Km ²

Otro estudio (Mingorance, 2003) indica que la interpretación detallada de la documentación histórica existente sobre el terremoto del 20 de Marzo de 1861 (Ms: 7.0), señala que en la ciudad de Mendoza y zonas cercanas hubo amplificación del movimiento sísmico y que el valor de aceleración vertical del terreno fue superior a 1g. Evidencias geológicas superficiales sugieren que en cercanías del epicentro la aceleración horizontal posiblemente haya superado el valor de 1g.

Por lo tanto y de acuerdo a los antecedentes, la región conocida como Gran Mendoza puede considerarse que ha sido afectada por terremotos cuyo foco han sido superficiales y comprendidos entre los 12 y 110 Km., las magnitudes de los mismos entre los 5.9 y 7.5, la Intensidad Mercalli modificada entre VII y IX y valores de aceleraciones cercanas a 1g. Las magnitudes evaluadas para los terremotos ocurridos concuerdan además con la magnitud asociada a las fuentes potenciales sísmicas. Por último los periodos de recurrencia de los

terremotos asociados a las fuentes sísmicas dependen de la falla y varían dentro de un amplio espectro.

Como se citó en los puntos anteriores (3.1), la zona del Gran Mendoza no cuenta con registros sísmicos de terremotos importantes y destructivos, sin embargo, los mismos son fundamentales para evaluar la respuesta estructural del edificio con aislamiento sísmico. Por lo tanto para realizar dicho estudio teórico y analítico es necesario definir al menos tres terremotos (de otras estaciones registradoras y posiblemente extranjeras) que cumplan con las características de los terremotos que han afectado la zona en estudio, para ello se deberá tener en cuenta los parámetros siguientes:

- Profundidad de foco.
- Magnitud máxima esperada del terremoto (M_s).
- Intensidad Mercalli modificada (IMM) y
- Aceleración máxima esperada.

3.5. Caracterización de las fuentes sísmicas del área del Gran Mendoza

La fallas activas que afectan la zona en estudio y emplazamiento del edificio con aislamiento de base, pueden ser caracterizadas por distintos parámetros, entre ellos: *la extensión de la falla, la edad, la magnitud y el periodo de recurrencia de los terremotos asociados a las mismas*. Dichos parámetros deben estar representados en los terremotos seleccionados para evaluar la respuesta dinámica del conjunto aislado.

El fallamiento activo regional dentro de la zona en estudio tiene, generalmente, rumbo norte-sur y se presenta desde la ciudad de Mendoza con dirección al oeste, hacia el interior de la cordillera. La actividad sísmica superficial corresponde a ese esquema regional. No se observan alineamientos claros tanto en el mapa de la región como en el perfil transversal, ello explica los siguientes aspectos:

- i) El fallamiento de la región es de tipo inverso, con buzamiento moderado al oeste.
- ii) Las distribuciones de los focos para fallas inversas no forman, generalmente, distribuciones planas en profundidad. Los eventos sísmicos ocurren sobre varias fallas secundarias que rodean al epicentro del terremoto principal, por lo tanto no debe esperarse distribuciones planas de eventos bien definidas en los perfiles transversales.

iii) La precisión en los cálculos para la determinación de la profundidad del foco en la región del Gran Mendoza no es lo suficientemente grande como para definir alineamientos planos.

Las fuentes sísmicas activas que afectan la región del Gran Mendoza, poseen las siguientes características:

a) **La falla del Cerro de la Cal – Calle Perú** presenta una extensión de 30 Km., y muestra una escarpa de edad holocena en su mayor parte. En base a la expresión geomórfica y al número de desplazamientos identificados en las trincheras que se excavaron a través de la escarpa, se clasifica a la falla como de edad holocena media (aproximadamente 4.000 años). Se asocian a ella, por lo menos, tres desplazamientos en superficie durante dicho lapso. Si se tiene en cuenta su expresión geomórfica se la subdivide en dos segmentos: uno norte, de 20 Km. de longitud y otro, sur, de 10 Km. En función de dichos datos se le ha asignado como magnitud máxima $M_s = 6 \frac{3}{4}$.

b) **La falla del Cerro de la Gloria y del Cristo** localizadas en el sector oeste del Gran Mendoza, en las proximidades del Cerro de la Gloria y del Cerro del Cristo, han sido interpretadas como fallas separadas en superficie, posiblemente unidas con otras fallas en profundidad. Tienen longitudes máximas del orden de 15 a 20 Km. cada una. Se ha asumido, por falta de mayor información, que la mitad de sus longitudes totales pueden fracturarse durante un solo efecto sísmico. En función de dichos datos, se le ha asignado como magnitud máxima $M_s = 6 \frac{1}{2}$.

c) Con relación a las **fallas menores del subsuelo en el noreste de Mendoza**, se tiene antecedentes de registros en la región este-noreste de Mendoza (Microzonificación Sísmica del Gran Mendoza, 1989), sin embargo, las magnitudes en ningún caso han superado el valor de $M_s = 6.5$, tampoco se ha observado deformación cuaternaria significativa. Por lo tanto, y debido a la falta de información sobre éstas fuentes sísmicas, se ha asumido un valor aleatorio de magnitud $M_s = 5.5$ a 6.0 .

d) Con relación a la **Zona de Benioff** y tal cual se citó en los párrafos anteriores (punto 3.2), la misma se localiza a 100 Km. de profundidad del Gran Mendoza. Los registros de actividad sísmica histórica para esta zona muestran eventos de magnitud $M_s = 7$ a $7 \frac{1}{2}$. Por lo tanto se

le ha asignado un terremoto potencial máximo de magnitud $M_s = 7 \frac{1}{2}$, ubicado a 100 Km. de profundidad para la zona de emplazamiento del edificio.

3.6. Peligro sísmico

El peligro sísmico se define como la probabilidad de que diferentes niveles de movimiento del terreno sean excedidos en un determinado lugar y durante un especificado intervalo de tiempo debido a la ocurrencia de terremotos destructivos. Dicha ocurrencia, en una determinada fuente, puede ser representada por un proceso del tipo de Poisson (Cornell, 1968) (Algermissen, et al 1972). Según dicha teoría, la probabilidad de que la amplitud “U” del movimiento del terreno, en un determinado lugar, exceda un nivel especificado “u”, durante un intervalo de tiempo, “t”, puede determinarse con la expresión (3.1):

$$P(U > u_{(t)}) = 1 - e^{-\nu(u)t} \leq \nu(u)t \quad 3.1.$$

Donde “u” es la frecuencia promedio durante el intervalo de tiempo, “t”, en el cual el nivel de amplitud del movimiento del suelo, “U”, excede el nivel “u” en el lugar de evaluación del peligro sísmico. El resultado que se obtiene representa a los terremotos de todas las fuentes sísmicas de la región. La función de probabilidad expresada en la ecuación 3.1, constituyen las incertidumbres inherentes en el fenómeno natural de generación de terremotos y de propagación de ondas sísmicas.

La selección de los terremotos probables que ocurran en la región exige, además de los parámetros ya tratados en los apartados anteriores, conocer el peligro sísmico asociado a las fallas activas de la zona donde se emplaza el edificio. El peligro sísmico de la región en estudio permite definir las características de los terremotos a seleccionar para realizar el diseño y predecir la respuesta del sistema de aislamiento.

La sismicidad de una región es un parámetro que cuantifica la frecuencia de los eventos sísmicos de distintas magnitudes por unidad de tiempo para una determinada área en estudio. Estudios realizados sobre la región (Silva et al, 2002) definieron la tasa media de la actividad sísmica del Gran Mendoza. Para cuantificar la relación de recurrencia de la actividad sísmica de la zona en estudio, se utilizó la expresión propuesta originalmente por Ishimoto - Ida en 1939 y posteriormente adecuada por Richter - Gutenberg en 1944 (Aguiar F., 1998), ecuación 3.2.

$$\text{Log } N = a - b M \quad 3.2.$$

Las relaciones Magnitud – Frecuencia permiten definir el número de sismos de una determinada magnitud esperados en una región y establecen una relación logarítmica entre el número de sismos (N) y la magnitud (M). El valor de “N” representa el número de eventos sísmicos de magnitud mayor que “M” por unidad de tiempo, es decir, un período de tiempo previamente definido (Sauter F., 1989).

El estudio (Silva et al, 2002) define dos relaciones, una para sismos superficiales (expresión 3.3) y otra para profundos (expresión 3.4). El número de eventos sísmicos de magnitud mayor que “M” considerado en el estudio, fue de aproximadamente 50 años, periodo del cual se contaba con información de valores de magnitudes (M) para la zona de estudio.

$$\text{Log } N = 2,73 - 0,71 M \quad (\text{Para sismos superficiales, } h < 70 \text{ Km.}) \quad 3.3.$$

$$\text{Log } N = 2,54 - 0,59 M \quad (\text{Para eventos profundos, } h > 70 \text{ Km.}) \quad 3.4.$$

En Fig. 3.19. se representa gráficamente las relaciones definidas por las ecuaciones 3.3 y 3.4.

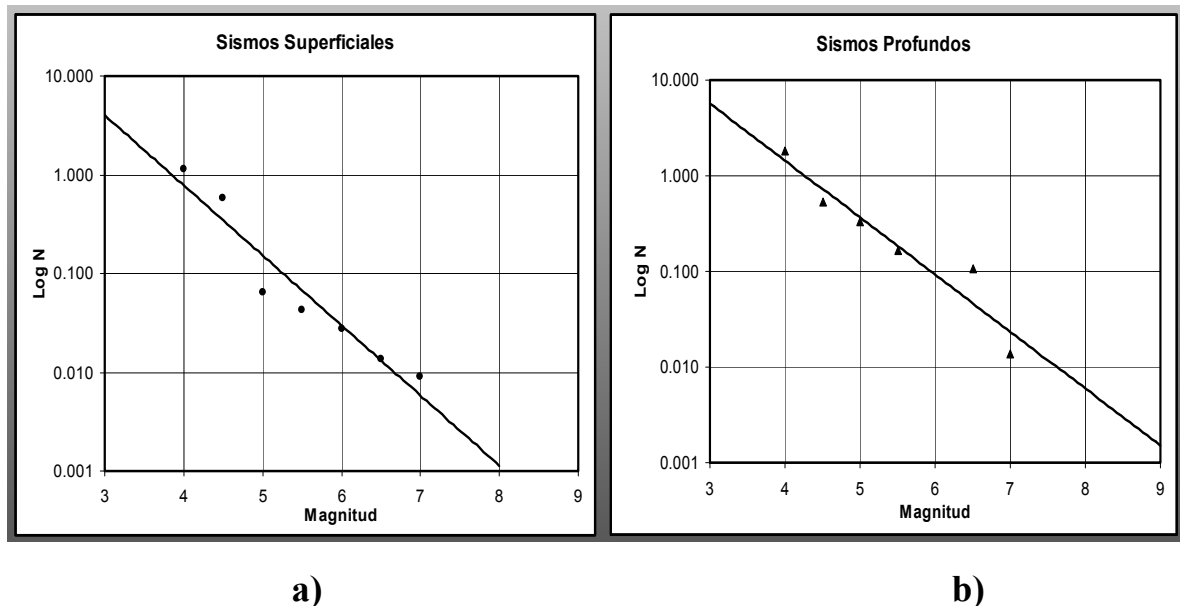


Fig. 3.19: Relación Magnitud – Frecuencia. a) Sismos superficiales ; b) Sismos profundos (Fuente: Silva et al, 2002)

El mismo estudio (Silva et al, 2002) definió la probabilidad de ocurrencia de futuros sismos y para ello se utilizó un modelo de probabilidades de Poisson, el cual supone que los eventos en sus movimientos principales se producen de un modo aleatorio e independiente, los tiempos

de origen, las coordenadas de los focos y las magnitudes son variables independientes entre sí. Por lo tanto la ocurrencia de un sismo, no tiene influencia en la ocurrencia de otro, y la probabilidad de que dos terremotos sucedan en el mismo sitio y al mismo tiempo es casi nula..

El mismo trabajo de investigación también definió, para la zona del Gran Mendoza, la probabilidad de ocurrencia de al menos un sismo de magnitud mayor o igual a “M” para intervalos de tiempo de 10, 50 y 100 años. Fig. 3.20.

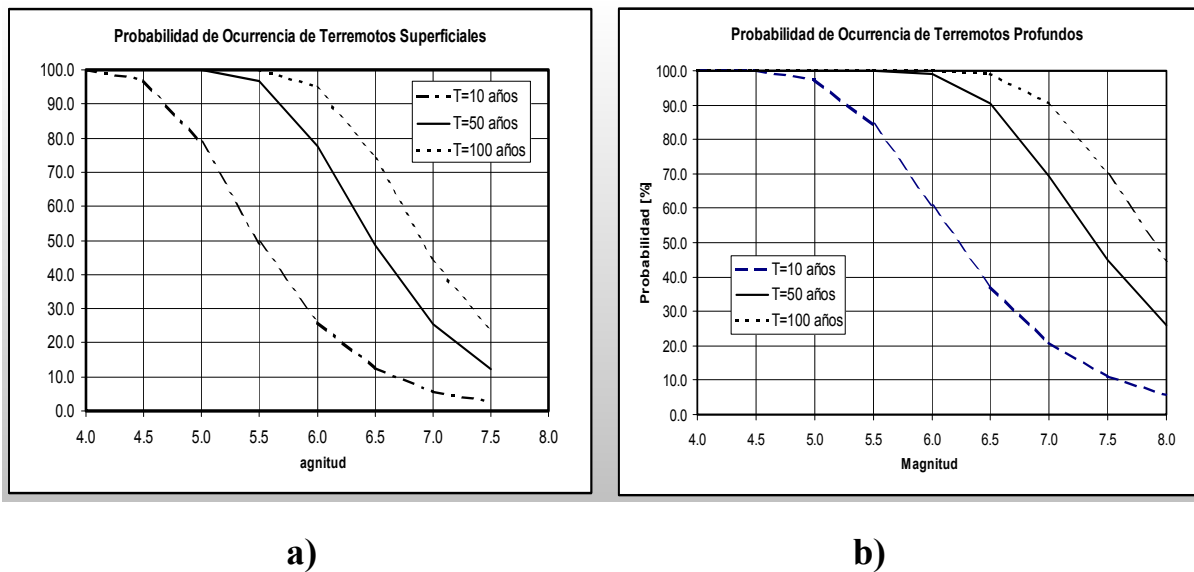


Fig. 3.20: Probabilidad de ocurrencia. a) Sismos superficiales ; b) Sismos profundos (Fuente Silva et al, 2002)

En la Fig. 3.21 se muestra la probabilidad de ocurrencia de “n” eventos para un intervalo de tiempo de 50 años.

Dentro de la zona de emplazamiento del edificio con aislamiento de base, existen dos grupos de fuentes sísmicas que dan lugar a un nivel de peligro sísmico significativo. Ellos son: el grupo que incluye a las **fallas de la corteza**, localizada dentro de la Placa Sudamericana (denominadas fuentes de “**corteza superficial**”) y el grupo que engloba a la sismicidad más profunda, con hipocentros ubicados dentro de la porción subducida de la Placa de Nazca (denominada fuente de “**subducción**”). Se sintetiza las principales características del peligro sísmico asociado a las fallas activas que afectan a la zona del Gran Mendoza.

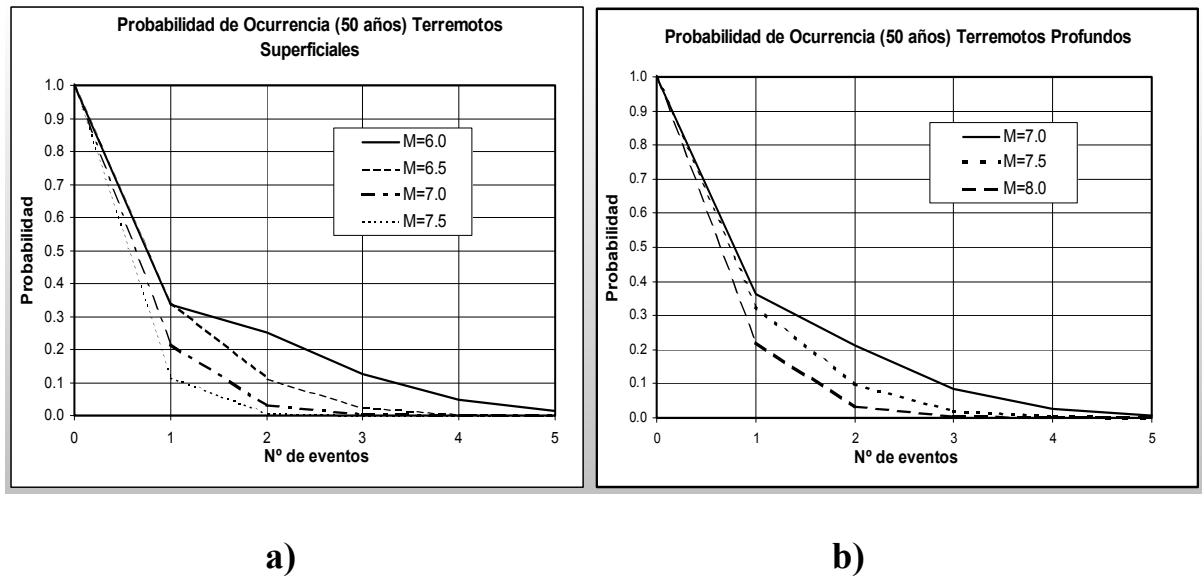


Fig. 3.21: Probabilidad de "n" eventos en 50 años: a) Sismos superficiales; b) Sismos profundos. (Fuente Silva et al, 2002)

3.6.1. Fuentes de corteza superficial

Este grupo incluye a las fallas activas identificadas en la región (Tabla 3.8). Estas fallas son de tipo inverso, buzando hacia el oeste con un ángulo variable entre 45° y 60°. Para definir el peligro sísmico asociado a una falla existen dos incertidumbre: **la magnitud máxima y el periodo de retorno.**

Los estudios realizados para la Microzonificación sísmica del Gran Mendoza (1989) utilizaron distribuciones estadísticas triangulares, centrada en la mejor estimación, con rango de ± 0.5 unidades, para salvar las incertidumbres de la magnitud. Las distribuciones obtenidas concuerdan con resultados de análisis de incertidumbres sobre magnitud máxima obtenidas en otras regiones del mundo para este tipo de fallas (Bernreuter et al, 1984; Youngs et al, 1987).

En relación a la incertidumbre del periodo de retorno, el mismo se calculó sobre la base de la información de campo, la cual define el número mínimo de eventos sísmicos con fallamiento superficial (Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989).

Las fuentes de corteza superficial incluyen las siguientes fallas:

a) **La Falla del Cerro de la Cal y de la calle Perú** son segmentos separados pertenecientes a una única zona de fallamiento. La mejor estimación del intervalo de recurrencia del sismo

máximo está basada en la ocurrencia de tres terremotos en 4.000 años. La interpretación de la información obtenida en las trincheras, realizadas en los estudios de microzonificación sísmica del Gran Mendoza (1989), permitieron estimar un rango posible en años y número de eventos. En relación a éstos últimos se han propuesto dos sísmicos en 8.000 años o cuatro en 2.000 años. La distribución resultante para el intervalo de recurrencia, varía entre 500 y 4.000 años para el terremoto potencial máximo en cada una de las fallas.

b) **La Falla del Cerro del Cristo y del Cerro de la Gloria** se las reconoce como las evidencias principales de una zona de falla que se extiende sobre el borde oeste del Gran Mendoza. Se estima que cada una de ellas ha producido un sísmico con ruptura superficial dentro de los últimos 10.000 a 40.000 años y se les ha asignado igual incidencia a estos dos valores de período de retorno.

c) **La Fallas de Salagasta y Los Cerrillos** son segmentos separados pertenecientes a una única zona de fallamiento. Datos obtenidos del terreno (ejecución de trincheras) proporcionaron como resultados la ocurrencia de dos terremotos en 10.000 años. Sin embargo, las incertidumbres en la interpretación de dicha información llevaron a considerar un rango relativo a edad y número de sismos. En relación a éstos últimos se propone un sismo en 20.000 años o cuatro en 5.000 años. La distribución resultante para el intervalo de recurrencia, varía entre 1.250 y 20.000 años, en cada una de las fallas.

d) **El anticlinal de Barrancas** está constituido por tres segmentos de fallas independientes. Para estimar el intervalo de recurrencia del sismo máximo se utilizaron los datos obtenidos para el segmento del extremo norte y se asume que los dos segmentos restantes tienen los mismos parámetros. La mejor estimación se obtuvo para la ocurrencia de tres sismos en 1.890 años. La distribución resultante, para el intervalo de recurrencia, varía entre 315 y 630 años.

e) **La Falla del Melocotón** está formada por dos segmentos de fallas. La mejor estimación del período de recurrencia se obtuvo para dos desplazamientos sobre un horizonte de 38.000 años de antigüedad. El número máximo de sismos estimados son de seis, lo que arroja como resultado un rango de intervalos de recurrencia de 6.333 a 19.000 años.

f) **En la zona noreste del Gran Mendoza** no se han identificado fallas activas. Se cuenta con sismos cuya magnitud máxima varía entre 5.5 a 6. Debido a que los registros históricos son incompletos para magnitudes $M_s = 4$, se han estimado los intervalos de recurrencia teniendo

en cuenta la ocurrencia de los sismos más importantes dentro de la zona. Los terremotos de mayor magnitud registrados en esta región son los acontecidos el 17/12/1920 con magnitud $M_s = 6.0$ y un sismo de magnitud variable entre 5.0 y 5.5 ocurrido en 1931. Por lo tanto, se ha estimado que el periodo de retorno en esta zona, para sismos de magnitud $M_s > 5.0$, es de dos sismos en 60 años para los 10.000 km².

3.6.2. Zona de subducción

La *fuerza de la Zona de Subducción* comprende a los terremotos que se producen dentro del sector subducido de la placa de Nazca. En correspondencia con la provincia de Mendoza se encuentra a una profundidad de aproximadamente 100 Km.. En dirección noroeste a sureste, de la zona de subducción, se observan cambios de densidad del interior de la tierra y de la profundidad de los focos sísmicos. Por ello la zona fue dividida en dos subzonas, la primera, “**zona nordeste**” consistente en una placa horizontal de 20 Km. de espesor y la segunda “**zona sudeste**” consistente en una placa buzante de 25° hacia el sudeste. Los estudios efectuados en oportunidad de realizarse la microzonificación sísmica del Gran Mendoza (1989), mostraron que los mejores resultados se obtienen para una frecuencia media anual de 4.5 sismos de magnitud $M \geq 4.0$.

3.7. Relaciones de atenuación

Definen los valores del movimiento del terreno en función de la magnitud y la distancia. Para los objetivos del trabajo de aislamiento sísmico es necesario contar con las relaciones de atenuación para definir las aceleración máximas y la respuesta espectral en términos de aceleraciones. Dichos parámetros permiten precisar las características que deben tener los terremotos a seleccionar para diseñar el sistema de aislamiento y valorar la respuesta dinámica del conjunto aislado.

3.7.1. Relaciones de atenuación para terremotos de la corteza superficial

Se han desarrollado varias relaciones de atenuación para el oeste argentino. Ellas describen la variación de la aceleración máxima del terreno con la distancia (Castano, 1977; Gil et al, 1982; Bufaliza, 1987). La relación desarrollada por Bufaliza (1987) muestra una razón de atenuación con la distancia, mucho mayor que la obtenida con las otras dos. La misma es muy similar a la observada en el oeste de los Estados Unidos (Microzonificación sísmica del Gran

Mendoza, 1989). Para el caso del Gran Mendoza se utilizan las relaciones de atenuación desarrolladas por Bufaliza, con algunas pequeñas modificaciones, debido a que esta basada en registros reales de movimientos sísmicos fuertes ocurridos en la región en estudio.

La aceleración máxima del terreno es relativamente insensible a las condiciones del subsuelo, a excepción de los suelos blandos. Estudios sobre el tema (Joyner y Boore, 1981) no encontraron, en un conjunto amplio de datos de registros sísmicos, diferencias significativas entre las aceleraciones máximas registradas en suelo y en roca.

Los registros de sismoscopios obtenidos durante el terremoto de 1985, ocurrido en Mendoza, constituyen un elemento ilustrativo respecto a la variabilidad en la amplitud del movimiento del suelo que puede ocurrir a cortas distancias. Los coeficientes sísmicos de cinco emplazamientos de sismoscopios ubicados entre sí a menos de un kilómetro variaron entre 0.10 y 0.18. La diferencia podría atribuirse, en parte, a la respuesta de cada edificio, pero también ello demuestra que pueden existir amplias diferencias en la respuesta del terreno a distancias cortas para sitios con condiciones similares de subsuelo.

Dicha aleatoriedad en el movimiento del terreno fue investigada con mayor detalle por Abrahamson (1988) en un análisis de la información proveniente del instrumento denominado SMART 1, emplazado en Taiwán. En una región del país se cuenta con una densa red de acelerógrafos localizados a nivel de planicie aluvial con estratigrafía uniforme. Cuando se analizó la variación de las aceleraciones máximas registradas para cada terremoto, Abrahamson llegó a la conclusión que se pueden esperar variaciones, en los valores de las aceleraciones máximas, de $\pm 20 \%$ sobre distancias de pocos kilómetros para idénticas condiciones del terreno.

Por lo tanto, y de acuerdo a lo anterior, las condiciones del emplazamiento tienen un pequeño efecto sobre las aceleraciones máximas, en cambio, ejercen una fuerte influencia en el contenido de frecuencias del movimiento del terreno. Estudios realizados por Gil et al (1982), dedujeron que para distancias reducidas a la falla pueden registrarse las aceleraciones máximas indicadas en la Tabla 3.22.

Tabla 3.22: Aceleraciones máximas para fallas cercanas (Gil, et al, 1982)

Magnitud esperada	Distancia (Km.)	Aceleración máxima
5	1	0.5g
6	1	0.6g
7	1	0.7g

3.7.2. Relaciones de atenuación para terremotos de la zona de subducción

Los terremotos originados en la zona de subducción presentan una razón de atenuación diferente respecto a los terremotos de corteza superficial. Gil et al. (1982) desarrollaron relaciones de atenuación para predecir el movimiento del terreno debido a los terremotos que ocurren en la placa de Nazca. Crouse et al, 1988, desarrollaron relaciones de atenuación de la aceleración máxima y relaciones de atenuación de las ordenadas espectrales, para terremotos de la zona de subducción admitiendo tres tipos de suelos: *roca*, *suelos firmes* y *suelos profundos*. Las estimaciones presentadas por los distintos autores dan valores similares para emplazamientos con tipo de suelo profundo y además, para el citado tipo de suelo, presentan los valores más altos comparados con los otros dos.

Para evaluar las contribuciones de la sismicidad de la placa de Nazca al peligro sísmico del Gran Mendoza, zona donde se emplaza el edificio con aislamiento sísmico de base, se utilizan las relaciones entre periodo y velocidad espectral desarrolladas por Youngs et al (1988), para roca y suelos firmes, y las de Crouse et al. (1988) para suelos profundos. La figura 3.23 muestra los valores de respuesta espectral media obtenida por ambos autores. Dichas relaciones muestran que para roca y suelo firme la velocidad espectral máxima se produce en torno al valor de 0.75 segundos de periodo del terreno, mientras que para suelos profundos los valores máximos dependen de la magnitud (M_s) del terremoto.

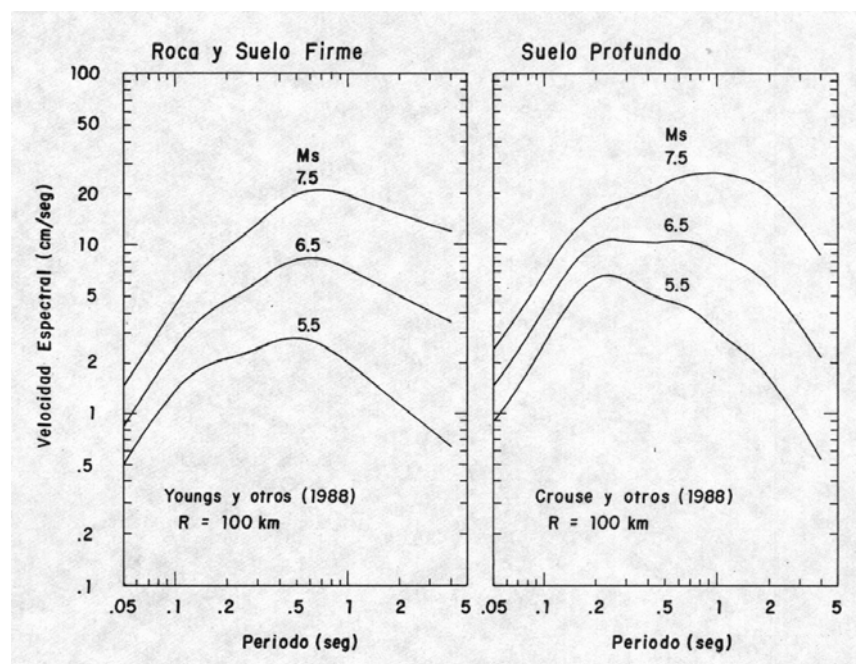


Fig. 3.23: Espectros de respuesta medios para terremotos de la zona de subducción (Youngs et al, 1988 y Crouse et al, 1988).

3.8. Peligro de aceleraciones máximas

Para los objetivos del trabajo de aislamiento sísmico es importante contar con las aceleraciones máximas esperadas en la región. Dicho parámetro permite precisar las aceleraciones que deben tener los terremotos a seleccionar para evaluar la respuesta del conjunto aislado y también del edificio de base fija. Para la zona del Gran Mendoza no existen registros sísmicos de terremotos destructivos, por lo tanto, es necesario individualizar terremotos registrados en otras partes del mundo que posean características similares al mecanismo geológico de la región. Dentro de dichas características la aceleración máxima es un parámetro a tener en cuenta y a definir.

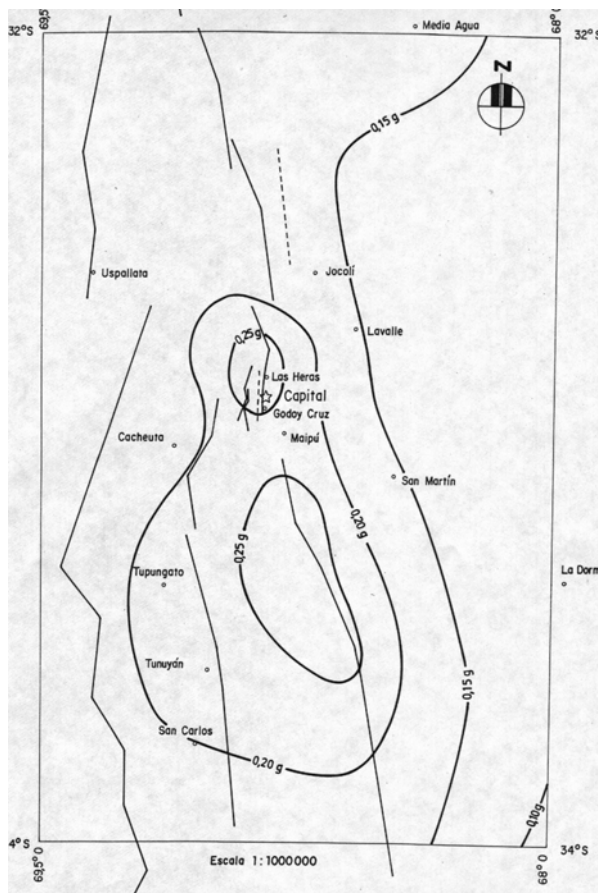


Fig. 3.24: Valores medios de aceleración horizontal máxima para roca y suelo firme con 10% de probabilidad de excedencia en 10 años (Fuente: Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989)

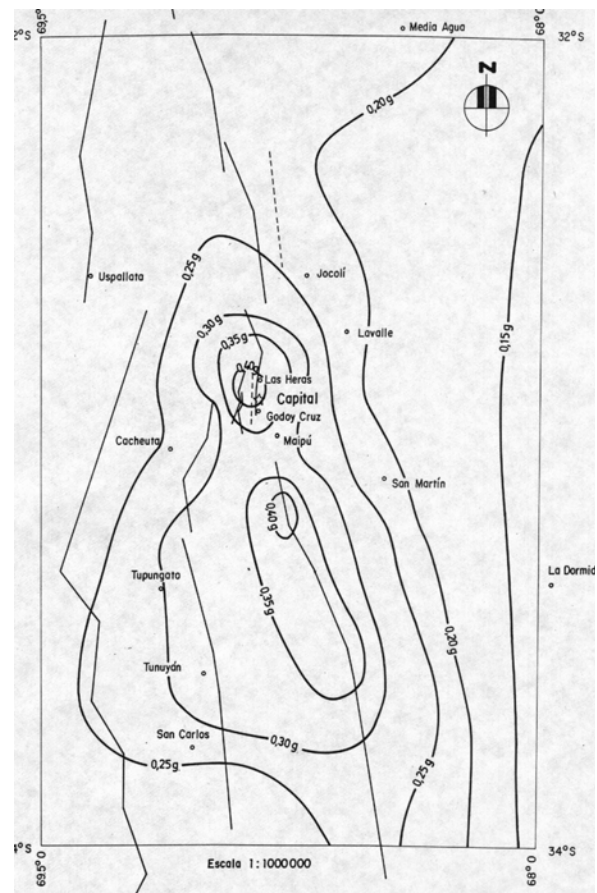


Fig. 3.25: Valores medios de aceleración horizontal máxima para roca y suelo firme con 10% de probabilidad de excedencia en 20 años. (Fuente: Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989)

La variación del peligro sísmico en toda la zona del Gran Mendoza y en particular la del emplazamiento del edificio con aislamiento de base, se define en términos de curvas de niveles medios de aceleración máxima del terreno, correspondientes al 10% de probabilidades de excedencia en períodos de 10, 20, 50 y 250 años. Si se asume que la ocurrencia de terremotos responde a un proceso de Poisson, los cuatro niveles de probabilidades (es decir 10% de probabilidad de excedencia en períodos de 10, 20, 50 y 250 años), corresponden a períodos de retorno de 100, 200, 500 y 2.500 años respectivamente.

Por lo tanto la aceleración horizontal máxima en roca y suelo firme, definidas para la zona en estudio por la microzonificación sísmica del Gran Mendoza (1989) se resume en lo siguiente:

- 10% de Probabilidad de excedencia en 10 años.....0.25g (Fig. 3.24)
- 10% de Probabilidad de excedencia en 20 años.....0.40g (Fig. 3.25)
- 10% de Probabilidad de excedencia en 50 años.....0.60g (Fig. 3.26)
- 10% de Probabilidad de excedencia en 250 años.....0.90g (Fig. 3.27)

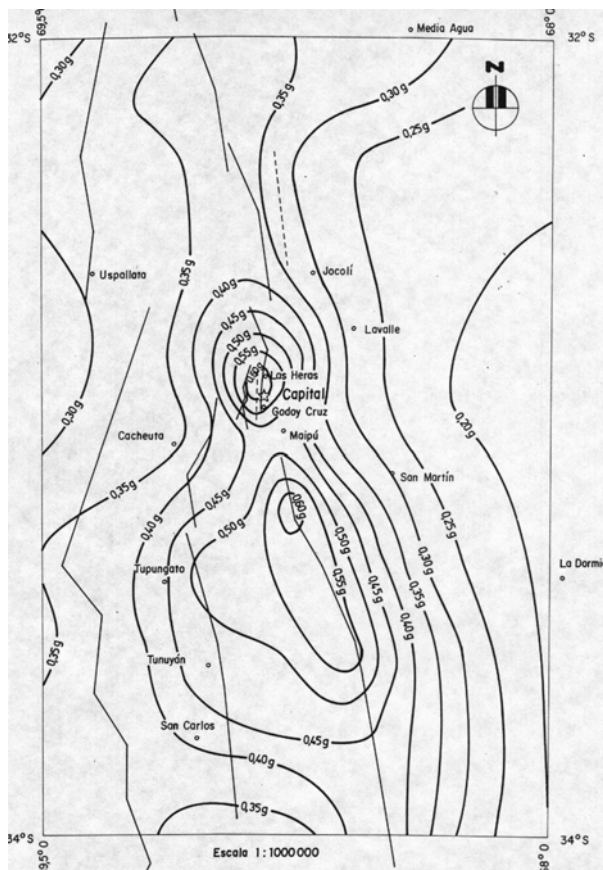


Fig. 3.26: Valores medios de aceleración horizontal máxima para roca y suelo firme con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años (Fuente: Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989)

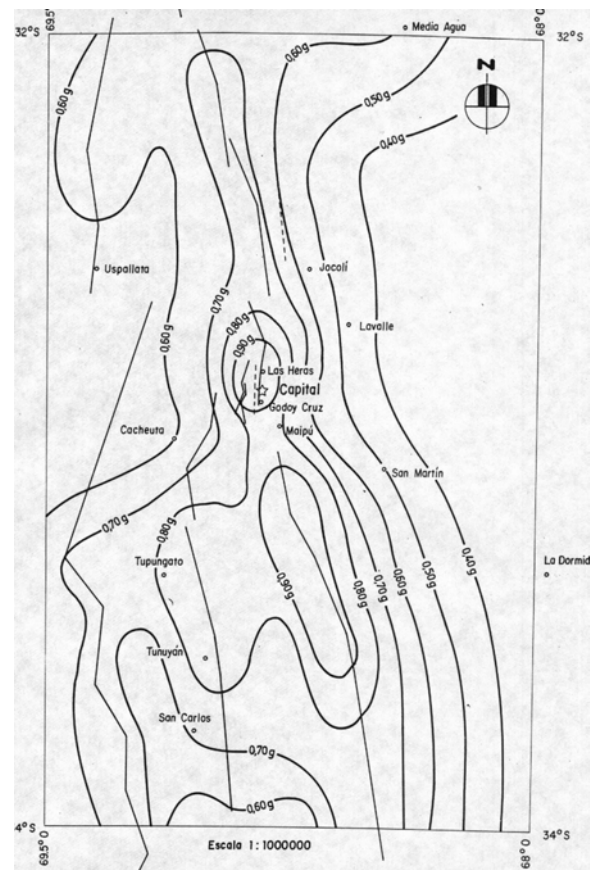


Fig. 3.27: Valores medios de aceleración horizontal máxima para roca y suelo firme con 10% de probabilidad de excedencia en 250 años. (Fuente: Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989)

3.8.1. Zonificación del peligro de rotura superficial

Los peligros sísmicos pueden dividirse en dos categorías generales: los primeros son aquellos que están asociados con el movimiento del terreno y los segundos los que están asociados con la ruptura de la superficie del mismo a lo largo de fallas superficiales. En los daños provocados por los terremotos predominan los debidos a la vibración del terreno, sin embargo, la ruptura superficial puede ser devastadora especialmente para construcciones críticas emplazadas próximas a las fallas, tales como *hospitales, escuelas, edificios públicos, centrales de telecomunicaciones, centrales de energía eléctrica, etc.* Dado que no es económicamente conveniente diseñar edificios para resistir roturas superficiales del terreno, lo prudente es evitar construir sobre fallas geológicas superficiales, lo que se logra mediante la identificación de las trazas de las fallas y la definición de las zonas a lo largo de la misma donde se reglamenta el uso del suelo.

Para controlar el uso del suelo pueden utilizarse dos criterios: en el primero se definen zonas para las que se imponen restricciones respecto a que se puede o no construir en ellas (Microzonificación sísmica de Managua y Nicaragua), el segundo es menos restrictivo y requiere que los propietarios demuestren, mediante investigaciones detalladas, que la obra a ejecutar no está ubicada directamente sobre la falla (Microzonificación sísmica de la ciudad de California, Estados Unidos). En ambos casos, el propósito de dicho tipo de zonificación es prevenir pérdida de vidas y daños mayores a la propiedad por el peligro de rotura superficial.

Los sistemas de aislamiento sísmico de base pueden controlar eficientemente el peligro debido a las vibraciones del terreno para emplazamiento relativamente alejados de la falla. En el presente trabajo se estudian y discuten algunas estrategias para terremotos asociados a fallas cercanas, sin embargo es importante destacar que la rotura superficial no puede ser controlada por un edificio con fundación tradicional ni tampoco por uno con aislamiento sísmico de base, por ello la importancia de conocer, con cierta precisión, la localización de las fallas activas que afectan la zona del Gran Mendoza.

3.8.2. Peligro por rotura superficial en el Gran Mendoza

La mayor parte de fallas activas se ubican en zonas de baja densidad poblacional y con poco desarrollo urbano, como es el caso de las fallas del Melocotón, Barrancas, Cerro del Cristo y de la Gloria (aunque en los últimos años y por el hecho de que la ciudad de Mendoza sigue creciendo hacia el piedemonte, hoy existen muchas construcciones próximas a las dos últimas

fallas). Para la falla Cerro de la Cal - Calle Perú la situación es diferente, ya que parte de la misma se ubica en la zona densamente urbanizada del Gran Mendoza. En oportunidad de realizarse la microzonificación sísmica del Gran Mendoza (1989), no fue posible ejecutar trincheras en el terreno para definir con exactitud la ubicación y la longitud total de la falla de calle Perú debido a las obras de infraestructura propias de toda la zona urbanizada. En consecuencia su traza está inferida a partir de los puntos de inflexión de perfiles topográficos realizados en otras zonas.

Los estudios realizados en la microzonificación sísmica del Gran Mendoza proponen la zonificación indicada en Tabla 3.28 para controlar el peligro de fallamiento superficial.

En los “**usos**” de la propuesta de la Tabla 3.28 se observa una exclusión de las estructuras con aislamiento sísmico, lo que indica la importancia de estudiar su respuesta frente a terremotos destructivos y con emplazamientos relativamente próximos a las fallas. Los resultados del presente trabajo de investigación permitirán incluir nuevas categorías a la propuesta de zonificación del peligro de rotura superficial por fallamiento.

Tabla 3.28: Propuesta de zonificación del peligro de rotura superficial por fallamiento (Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989)

Usos	Fallas activas conocidas		Fallas activas dudosas, posibles zonas de fallamiento tipo lístrico.
	Ubicadas en zonas no desarrolladas (1)	Ubicadas en zonas urbanizadas (2)	
1. Hospitales, plantas de energía eléctrica, de agua potable y de bombeo, cuarteles de bomberos, droguerías, puentes elevados y edificio con más de ocho pisos cuya altura es, por lo menos 1.5 veces mayor que la dimensión de la planta mínima.	Excluir (3)	Excluir hasta tanto se realicen estudios especiales sobre la falla (para ubicar definitivamente su traza)	Necesita estudio de falla local.
1.A. Servicios públicos subterráneos, principales líneas cloacales, conductos eléctricos, cañería de agua potable y para incendio.	Diseño especial.	Diseño especial.	Necesita estudio de falla local.
2. Escuelas, grandes hoteles, iglesias, centros gubernamentales, museos, teatros, auditorios, depósito de municiones.	Excluir (3)	Excluir hasta tanto se realicen estudios especiales sobre la falla (para ubicar definitivamente su traza)	Necesita estudio de falla local.
3. Barrios, pequeños departamentos multifamiliares, pequeños hoteles, edificios de oficinas, edificios comerciales (estructuras menores de tres pisos)	Excluir (3)	Excluir hasta tanto se realicen estudios especiales sobre la falla (para ubicar definitivamente su traza)	Necesita estudio de falla local.
4. Mercados abiertos, casas familiares, edificios industriales, edificios para estacionamiento, negocios de reparaciones, depósitos habitados.	Excluir (3)	Excluir hasta tanto se realicen estudios especiales sobre la falla (para ubicar definitivamente su traza)	Diseño de acuerdo con el código de construcciones.
5. Depósitos no habitados, establos, garajes, estacionamientos abiertos, casas de madera, construcciones especiales de techo liviano, estructuras livianas para terminales de ómnibus.	Diseño de acuerdo con el código de construcciones.	Diseño de acuerdo con el código de construcciones.	Diseño de acuerdo con el código de construcciones.

- (1) *Falla de Barrancas, Melocotón, Cerro de la Cal, Cerro del Cristo y Cerro de la Gloria.*
(2) *Falla de la Calle Perú.*
(3) *Implica no construir en un área de por lo menos 100 metros a cada lado de la traza de la falla.*

3.9. Zonificación para el diseño estructural

De acuerdo a lo expresado en apartados anteriores (punto 3.2.1) se recomienda adoptar para la región del Gran Mendoza, con fines de diseño estructural, las aceleraciones máximas correspondientes a una probabilidad de excedencia del 10 % en 20 años (Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989). En consecuencia, para la región del Gran Mendoza, dichas aceleraciones máximas, pueden definirse mediante tres valores característicos ($a_{max(1), (2) \text{ y } (3)}$).

$$a_{max(1)} = 0.40 \text{ g}; \quad a_{max(2)} = 0.35 \text{ g}; \quad a_{max(3)} = 0.30 \text{ g}$$

$$g = \text{aceleración de la gravedad (cm/s}^2\text{)}$$

Sin embargo las “*aceleraciones instrumentales máximas*” no son necesariamente los valores más adecuados para representar el efecto de los movimientos sísmicos sobre las construcciones, en su lugar, se utilizan las “*aceleraciones efectivas*”, las mismas consisten en una reducción del valor de aceleración máxima asociado a un solo nivel de frecuencia del movimiento sísmico.

Las **aceleraciones efectivas** se pueden obtener mediante el cálculo del valor medio de las ordenadas espectrales de aceleración, para $0.1 \text{ segundos} \leq T \leq 0.5 \text{ segundos}$ y se las divide por el valor de la amplificación espectral asumida para el espectro de diseño (ver punto siguiente 3.10). Por ejemplo si se procede de la manera indicada, con los espectro del terremoto del 26/01/1985, ocurrido en Mendoza, para cuatro acelerogramas del mismo y si se adopta como valor promedio 2.50 como parámetro de amplificación espectral se obtienen los valores indicados en Tabla 3.29.

Si se adopta una aceleración efectiva igual a ($0.85 * a_{max}$) resultan los valores indicados en la Tabla 3.30.

Tabla 3.29: Valores de aceleración efectiva para cuatro acelerogramas del terremoto de Mendoza del 26/01/1985.

Estación de registro	Aceleración efectiva	Observaciones
Maipú (1)	$0.71 * a_{max}$	Obtenida como promedio de las dos componentes registradas.
D'Amicis (Capital) (2)	$0.87 * a_{max}$	Obtenida como promedio de las dos componentes registradas.
Las Heras (3)	$0.91 * a_{max}$	Obtenida como promedio de las dos componentes registradas.
A. y E. E. (Capital) (4)	$0.91 * a_{max}$	Corresponde a una sola componente registrada.
Promedio	$0.85 * a_{max}$	

- (1) Municipalidad del Departamento de Maipú (Frente a plaza principal del Departamento)
- (2) Escuela Edmundo D'Amicis (Santiago del Estero N° 452. Ciudad Mendoza)
- (3) Aeropuerto militar "El Plumerillo". Las Heras.
- (4) Ex edificio de Agua y Energía Eléctrica de la Nación. San Martín N° 437. Ciudad Mendoza.

Tabla 3.30: Aceleraciones efectivas para los tres niveles de aceleraciones máximas para la zona del Gran Mendoza.

Nivel	Aceleración máxima	Aceleración efectiva
1	0.40 g	0.35 g
2	0.35 g	0.30 g
3	0.30 g	0.25 g

Por lo tanto los terremotos a seleccionar para evaluar la respuesta del edificio con aislamiento sísmico, deberán contener aceleraciones que sean iguales o mayores a las propuestas para la zona de emplazamiento del mismo.

Los estudios de microzonificación sísmica del Gran Mendoza (1989) proponen los valores máximos de aceleraciones por zonas, junto al tipo de espectro a utilizar (Fig. 3.31). Tanto los espectros de diseño como los de respuesta se analizan en el punto siguiente.



Fig. 3.31: Propuesta de zonificación para el diseño estructural (Fuente: Microzonificación sísmica del Gran Mendoza, 1989)

3.10. Espectros de respuesta y de diseño para el área del Gran Mendoza

3.10. 1. Espectros de respuesta

Los espectros de respuesta fueron introducidos por M. A. Biot, 1932. Es una herramienta muy utilizada en la ingeniería y dinámica estructural. El espectro es un instrumento adecuado para resumir el comportamiento, junto a sus valores máximos, de todos los posibles sistemas lineales de un grado de libertad y para una componente particular del movimiento del terreno causado por la acción sísmica.

Los espectros de respuesta son diagramas que representan el valor máximo de una magnitud determinada en función del periodo natural de vibración (" T_n ") del sistema o en función de la frecuencia circular (" ω_n "). Los gráficos se construyen para sistemas de un grado de libertad y pueden graficarse para distintos valores de amortiguamiento (" ξ "). Se pueden definir una variedad de espectros de respuesta en función de la magnitud que se elija para graficar, desplazamiento, velocidad o aceleración. En la ingeniería sísmica es habitual trabajar en término de aceleración, aunque también es común encontrar espectros de respuesta en términos de desplazamientos y de velocidad sobre todo para los terremotos asociados a falla cercana donde, en ellos, es posible observar con mayor claridad los pulsos largos de desplazamientos y velocidad característicos, de los terremotos de fallas próximas y superficiales.

Los espectros de respuesta elástica representan valores máximos de una cierta cantidad (aceleración, velocidad o desplazamiento) en función del periodo natural de vibración del sistema o de otros parámetros tales como la frecuencia circular o técnica (Chopra A., 1995). Por lo tanto representan parámetros de respuesta máxima para un terremoto determinado y usualmente se presentan con varias curvas que consideran distintos factores de amortiguamiento. Los espectros de respuesta se utilizan fundamentalmente para estudiar las características del terremoto y su efecto sobre las estructuras. Las curvas de los espectros de respuestas presentan variaciones bruscas, con numerosos picos y valles como resultado de la complejidad del registro de aceleraciones del terremoto. En Anexo (B), se representan los espectros de respuestas de los terremotos seleccionados para realizar el diseño y la verificación del sistema de aislamiento estudiados en la presente tesis (Fig. B-418 a B-434).

Del espectro de respuesta elástico, obtenidos para distintos terremotos registrados en una determinada región, los reglamentos definen los espectros de diseños normalizados para ser utilizados en las etapas de diseño y verificación (Fig. 3.32). Otros espectros de diseño se presentan en el punto 3.10.2.

Para los objetivos de la presente tesis y a los fines prácticos del edificio con aislamiento de base, es importante conocer los espectros definidos para la zona del Gran Mendoza, dado que, no solo se evalúa la respuesta del conjunto aislado mediante un análisis dinámico de la respuesta en el tiempo sino, y con el objeto de verificar aspectos normativos, se realiza también, en la etapa de diseño, un análisis dinámico espectral.

Sin embargo, es oportuno aclarar que dichos espectros han sido definidos para construcciones tradicionales y no para sistemas con aislamientos de base. Algunas normativas (UBC, 1997, FEMA 450, 2003, NCh2745 c2002) han incorporado espectros, para distintos tipos de suelos, para ser utilizado en el diseño de construcciones con aislamiento sísmico de base. Por lo tanto y a falta de mayor información al respecto, los análisis de las respuestas estructurales son evaluadas con espectros de respuesta de diseño normalizados. En la Fig. 3.32 se representa el recomendado para la zona del Gran Mendoza por la Microzonificación sísmica.

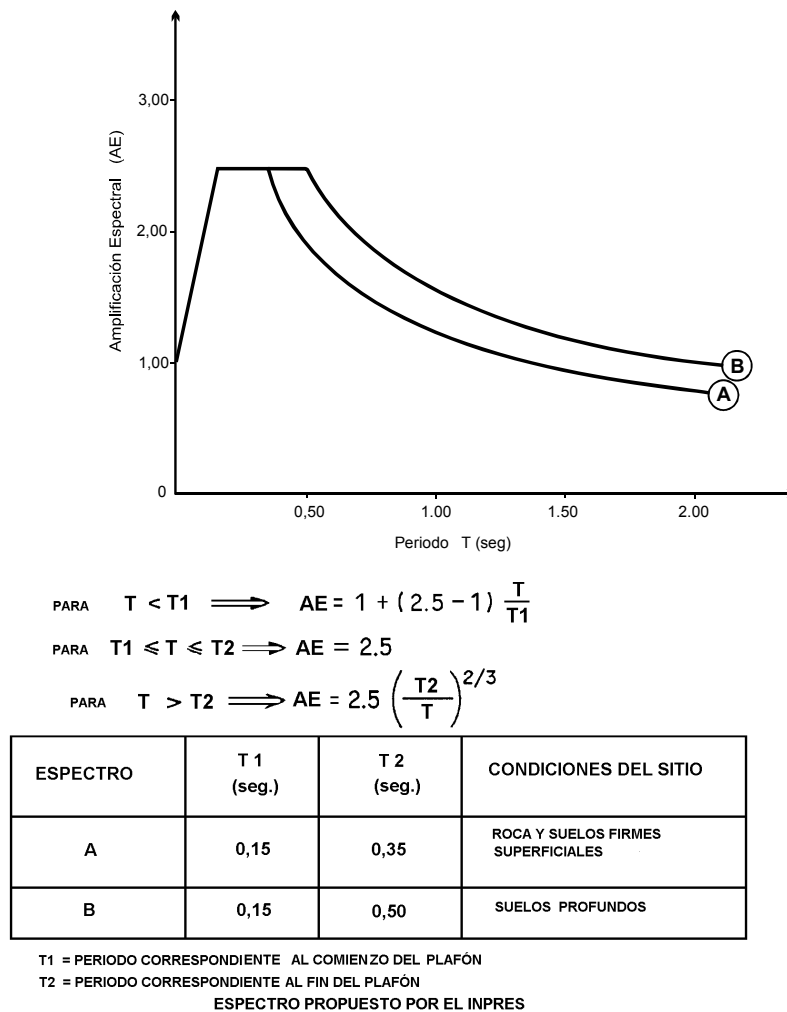


Fig. 3.32: Espectros de diseño normalizados recomendados por la Microzonificación sísmica del Gran Mendoza (1989) para el diseño estructural.

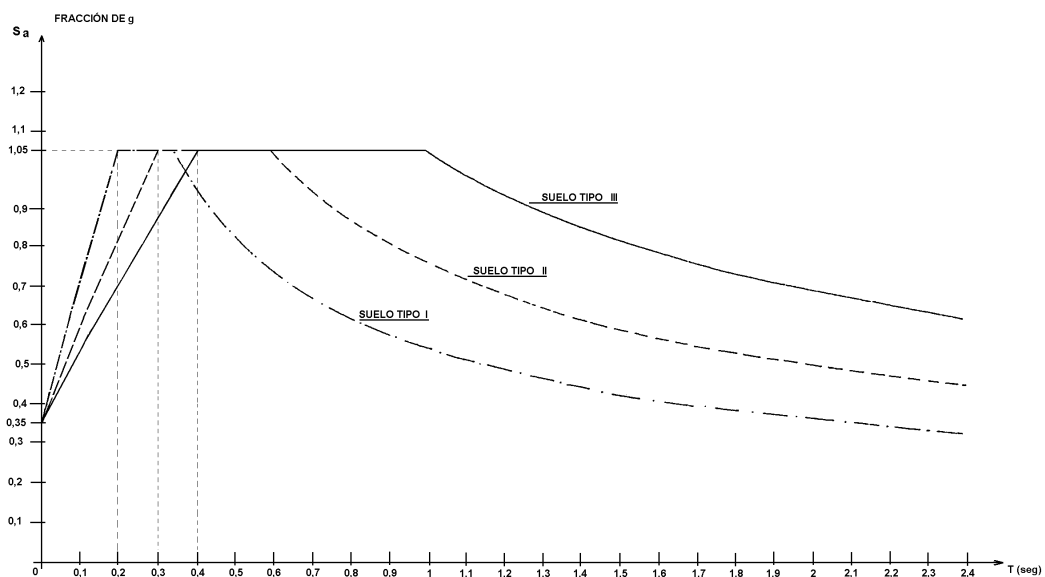
3.10. 2. Espectros de diseño

Los espectros de diseño son un conjunto de curvas suavizadas que representan los valores máximos de aceleración, velocidad y desplazamiento en función del periodo natural de un vibrador de un grado de libertad. En la ingeniería sísmica es habitual utilizar los espectro de diseño en términos de aceleración, aunque para otros fines (refuerzos estructurales

tradicionales o uso de disipadores de energía) es común la presentación en términos de desplazamientos. Los espectros de diseño son definidos por los reglamentos para diseñar nuevas estructuras o evaluar la seguridad sísmica de estructuras existentes y deben representar, lo más fielmente posible, los movimientos de suelo registrados en el lugar durante terremotos pasados.

Para algunas regiones el espectro de diseño es la envolvente de dos espectros, lo cual da lugar a que la región puede ser afectada por dos tipos de terremotos, por ejemplo podrá presentarse un sismo con una determinada magnitud con foco en falla cercana y existir otro, con magnitud diferente, proveniente de falla lejana. En consecuencia para dicha zona el espectro de diseño resulta ser la envolvente de los dos terremotos posibles.

Los terremotos a seleccionar para evaluar la respuesta del edificio con aislamiento de base deberán presentar espectros cuyas características sean similares a las fijadas por el reglamento para el diseño de nuevas estructuras. Desde un punto de vista conceptual no sería conveniente utilizar los mismos espectros de diseño definidos para estructuras tradicionales que para edificios aislados. En la Fig. 3.33 se presentan los espectros de diseño definido por el reglamento INPRES – CIRSOC 103, para estructuras nuevas y para zona 4, lugar donde se emplaza el edificio con aislamiento sísmico de base.



<i>Suelo tipo I :</i>	<i>Suelos firmes y compactos.</i>
<i>Suelo tipo II:</i>	<i>Suelos Intermedios.</i>
<i>Suelo tipo III:</i>	<i>Suelos blandos.</i>

Fig. 3.33: Espectros de diseño recomendado por el reglamento INPRES-CIRSOC 103 (1983)

3.11. Resumen

Las fuentes sísmicas potenciales reconocidas se concentran en un corredor localizado en el piedemonte andino. Dichas estructuras fueron identificadas en función de las características de su expresión morfológica y probables antecedentes de sismicidad reciente. Comprenden fallas con componente principal inversa divergentes al este (estructuras marginales en el piedemonte mendocino) y al oeste (corrimientos de precordillera oriental, cerro El Cristo y Cerro de la Gloria). Completan dicha lista, fallas propagantes cuya expresión en superficie está caracterizada por anticlinales con actividad cuaternaria.

La falta de registros de terremotos importantes en la región implica utilizar acelerogramas de terremotos que posean características similares a los que se esperan en la zona de emplazamiento. Con el objeto de definir los parámetros de los terremotos a seleccionar para realizar el diseño del sistema de aislamiento sísmico y evaluar la respuesta del conjunto aislado y del edificio de base fija, se ha analizado y estudiado la geología local y regional cuando se tiene en cuenta distintos parámetros de la misma tal que aquellos representen los más fielmente posible las características de los terremotos esperados en la región.

Se han definido las fallas sísmicamente activas que se encuentran en la zona y próximas al edificio con aislamiento de base y se ha caracterizado cada una de ellas. Se han analizado los aspectos más relevantes de la geología local para el proyecto de tesis y entre ellos se ha evaluado las características más importantes de los terremotos que afectaron el Gran Mendoza. Para la zona de emplazamiento del edificio se ha analizado el Peligro Sísmico y las relaciones de atenuaciones tanto para las fuentes de corteza superficial como para la zona de subducción, dado que ambas fuentes, pueden generar terremotos que afectan la zona de emplazamiento.

Se han definido para la región, las aceleraciones máximas y efectivas y la posibilidad del peligro de rotura superficial, además de los espectros de respuesta y de diseño que fijan para la zona de emplazamiento los reglamentos actualmente vigentes.

Con la determinación de los parámetros citados, evaluados y estudiados en el presente capítulo, se realiza una selección de los terremotos a utilizar en el diseño para la evaluación de la respuesta del conjunto aislado. El listado de dichos terremotos y sus principales características pueden observarse en el capítulo 4 de la tesis.