

68° 30'

PODER EJECUTIVO NACIONAL
MINISTERIO DE OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS

MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM - PROVINCIA DE SAN JUAN

RESUMEN EJECUTIVO

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA
INPRES

REPUBLICA ARGENTINA - DICIEMBRE DE 1982

68° 30'

31° 30'



Gil - Nafa - Zamarbide
INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

**MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE
DE TULUM - PROVINCIA DE SAN JUAN
REPUBLICA ARGENTINA**

RESUMEN EJECUTIVO

San Juan, Diciembre 1982

Este "RESUMEN EJECUTIVO" condensa el contenido del "INFORME TECNICO GENERAL" que en tres volúmenes desarrolla el estudio y conclusiones para la "MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM" en la Provincia de San Juan, República Argentina.

Mayores detalles e informaciones sobre el tema pueden consultarse en dicho Informe, con el INPRES, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, Roger Balet 47 norte, 5400-San Juan, República Argentina. Teléfonos 30602 - 30603. Télex 59129. INPRE AR.



Ministerio de Obras y Servicios Públicos
Instituto Nacional de Prevención Sísmica

INPRES

PROLOGO

Uno de los principales condicionantes del desarrollo socioeconómico de la Provincia de San Juan radica en el elevado nivel de peligrosidad sísmica de su territorio, puesto en evidencia con el último terremoto destructivo del 23 de noviembre de 1977, el que debe considerarse como una nueva manifestación de un fenómeno que afectó la provincia en reiteradas oportunidades y que sin duda puede repetirse en un futuro cercano.

El notable grado de seguridad sismorresistente verificado en la ciudad de San Juan durante este último terremoto, fruto de la correcta aplicación de un conjunto de medidas de prevención sísmica, desciende a niveles alarmantes en los restantes asentamientos urbanos del interior de la provincia, varios de los cuales fueron devastados por el citado terremoto.

Esta circunstancia se vió agravada en el caso de las obras de infraestructura económica tales como vías de comunicación, canales, redes de distribución de energía, perforaciones para aprovechamiento de aguas subterráneas, establecimientos industriales y otras varias, como así también en los terrenos de cultivo de la extensa zona afectada por el fenómeno.

El imprevisto y elevado nivel de daños registrados en este tipo de obras, puso en evidencia una falta total de conocimiento del grado de peligrosidad sísmica en detalle, asociado al área del territorio provincial más vulnerable a este tipo de riesgo, que es precisamente donde se encuentra radicada la casi totalidad de la actividad económica de la provincia.

Para lograr una solución definitiva a este importante problema, el Excelentísimo Señor Presidente de la Nación Argentina, a solicitud del Gobierno y de las fuerzas vivas de San Juan, dispuso la realización de un estudio de microzonificación sísmica del área de mayor importancia socioeconómica de la provincia, complementado con un relevamiento de las característi



Ministerio de Obras y Servicios Públicos
Instituto Nacional de Prevención Sísmica

INPRES

cas sismorresistentes de las construcciones emplazadas en los principales asentamientos urbanos, evaluando el nivel esperado de daños potenciales emergentes del peligro sísmico.

El estudio fue encomendado al Instituto Nacional de Prevención Sísmica - INPRES -, organismo descentralizado dependiente del Ministerio de Obras y Servicios Públicos de la Nación, que cuenta entre sus atribuciones legales la de planificar y realizar el estudio de la sismicidad del territorio nacional, evaluando el riesgo sísmico en todas y cada una de las zonas del mismo.

Para la ejecución del proyecto, basándose en el principio de subsidiariedad del estado, el INPRES requirió la participación del sector privado mediante la contratación por concurso público de los servicios de consultoría.

El trabajo fue adjudicado a la firma argentina "GIL, NAFA, ZAMARBIDE, Ingenieros Consultores S.R.L." quién presentó como subcontratista principal a la firma WOODWARD-CLYDE Consultants, encuadrándose en las disposiciones de la Ley N° 18875 y Decreto N° 2930/70.

El adjunto informe presenta los resultados del trabajo realizado durante dieciocho meses y permitirá al Gobierno de San Juan integrar los factores derivados del riesgo sísmico en el proceso de planificación física y económica de la provincia y en la preparación de los planes de emergencia para casos de desastres.

Debe destacarse la importancia nacional que adquiere la culminación de este trabajo que se realiza por primera vez en el país, por cuanto la enorme experiencia adquirida por los técnicos, tanto del sector público como del privado, complementada por una real transferencia de tecnología hacia el medio, permitirá encarar en lo sucesivo y en forma continuada, estudios similares en otras zonas del país afectadas por este tipo de riesgos.

También se traduce en un aporte de la República Argentina a los



Ministerio de Obras y Servicios Públicos
Instituto Nacional de Prevención Sísmica

INPRES

países del área sísmica de la Región, por cuanto el presente trabajo forma parte de las respectivas contrapartidas nacionales del Gobierno Argentino a los programas de investigación aplicada de carácter internacional que dirige y ejecuta el INPRES en nuestro país y que se indican a continuación:

I - "PROTECCION SISMICA ANDINA (PROSISAN)"

Proyecto Especial P.E. 34 encuadrado en el Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico de la Organización de los Estados Americanos (O.E.A.).

II - "PROGRAMA PARA LA MITIGACION DE LOS EFECTOS DE LOS TERREMOTOS EN LA REGION ANDINA (SISRA)"

Proyecto Multinacional encuadrado en el Acuerdo de Subvención (Grant Agreement N° 14-08-0001-G-670) entre el Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y el U.S. Geological Survey de los Estados Unidos de Norte América (USGS-OFDA-AID).

SAN JUAN, República Argentina, octubre de 1982.

Ing. Juan Carlos CASTANO
DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Julio Sohar AGUIRRE RUIZ
DIRECTOR NACIONAL INPRES

INDICE

	<u>página</u>
A - CONTENIDO.	
1.0. RESUMEN Y CONCLUSIONES.....	1-1
1.1. Resumen.....	1-1
1.2. Conclusiones.....	1-2
2.0. INTRODUCCION.....	2-1
2.1. Ubicación del área bajo estudio.....	2-1
2.2. Objetivos.....	2-2
2.3. Alcance del trabajo.....	2-3
3.0. CONFIGURACION SISMOTECTONICA REGIONAL Y LOCAL.....	3-1
3.1. Configuración geológico-tectónica regional.....	3-1
3.2. Configuración sísmológica regional..	3-2
3.3. Configuración geológico-tectónica de la Provincia de San Juan.....	3-5
3.3.1. Geología cuaternaria.....	3-7
3.3.2. Rasgos estructurales.....	3-8
3.3.3. Modelo tectónico.....	3-9
4.0. FALLAS ACTIVAS EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN.....	4-1
4.1. Pautas para definir las fallas activas.....	4-1
4.2. Método de estudio.....	4-2
4.3. Falla de la Caída del Tigre.....	4-7
4.4. Región de la Precordillera.....	4-14
4.5. Falla del Frente Norte.....	4-16
4.6. Falla de la Precordillera.....	4-17
4.6.1. Segmento de falla de La Rinconada.....	4-18
4.6.2. Segmento de falla Marquezado.	4-19
4.6.3. Segmento de falla de La Laja.	4-22
4.6.4. Discusión.....	4-24

4.7. Falla de la Sierra Pie de Palo.....	4-26
4.8. Falla de la Sierra de Valle Fértil..	4-27
5.0. SISMICIDAD DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN...	5-1
5.1. Sismicidad de la zona de Benioff....	5-2
5.2. Sismicidad de la corteza.....	5-3
6.0. ANALISIS DE EXPOSICION SISMICA.....	6-1
6.1. Enfoque general.....	6-1
6.2. Formulaciones matemáticas.....	6-2
6.2.1. Probabilidad de excedencia...	6-2
6.2.2. Distribución de probabilidad condicional de la menor dis- tancia.....	6-4
6.2.3. Distribución de probabilidad condicional basada en la ate- nuación.....	6-4
6.2.4. Parámetros para el trazado de mapas de exposición sísmica..	6-5
6.3. Evaluación de la información neces- aria para el análisis de exposición sísmica.....	6-5
6.3.1. Fuentes sísmicas potenciales y recurrencia.....	6-6
6.3.1.1. Fuentes sísmicas po- tenciales en la cor- teza.....	6-6
6.3.1.2. Zona de Benioff.....	6-8
6.3.2. Relación entre la longitud de rotura y la magnitud.....	6-9
6.3.3. Relaciones de atenuación.....	6-9
6.3.3.1. Aceleración horizon- tal máxima para te- rremotos superficia- les.....	6-9

6.3.3.2. Aceleración horizontal máxima para terremotos de la zona de Benioff.....	6-11
6.4. Resultados del análisis de exposición sísmica.....	6-12
6.4.1. Definición del reticulado utilizado para la confección de mapas.....	6-12
6.4.2. Mapas de exposición sísmica para el Valle de Tulum.....	6-12
7.0. SUELOS Y CONDICIONES DEL SUBSUELO.....	7-1
7.1. Configuración fisiográfica del Valle de Tulum.....	7-1
7.2. Espesor y distribución de los sedimentos.....	7-2
7.3. Agua subterránea.....	7-3
7.4. Secciones transversales del subsuelo.	7-4
7.5. Características mecánicas de los depósitos del valle.....	7-5
7.6. Comparación entre los depósitos del cono y de llanura aluvial.....	7-7
7.7. Descripción general de los daños causados por el terremoto de Cauçete del 23 de noviembre de 1977.....	7-8
7.8. Análisis de los registros instrumentales del terremoto de 1977.....	7-11
7.8.1. Registros de sismoscopios.....	7-11
7.8.2. Registros de acelerógrafos....	7-12
7.8.3. Cálculos analíticos de la respuesta del terreno.....	7-14
7.8.4. La réplica del 6/diciembre/77.	7-15
7.9. Efectos del terremoto en la estructura de bajo período.....	7-16

7.10. Espectros de diseño propuestos.....	7-17
7.11. Falla del terreno por licuefacción..	7-18
8.0. EVALUACION DEL PELIGRO SISMICO.....	8-1
8.1. Evaluación probabilística del peligro de licuefacción sísmica.....	8-1
8.1.1. Enfoque.....	8-1
8.1.2. Probabilidad de licuefacción durante el terremoto de 1977..	8-8
8.1.3. Peligro de licuefacción en el Valle de Tulum.....	8-9
8.2. Evaluación probabilística del peligro de rotura superficial.....	8-10
8.2.1. Enfoque.....	8-11
8.2.2. Peligro de rotura superficial.	8-14
9.0. CARACTERISTICAS DE LAS CONSTRUCCIONES EXISTENTES EN LA ZONA BAJO ESTUDIO.....	9-1
9.1. Objetivos y definiciones.....	9-1
9.2. Tipos de construcciones existentes en el área en estudio.....	9-2
9.2.1. Construcciones efectuadas con previsiones sismorresistentes.	9-2
9.2.2. Construcciones de adobe.....	9-3
9.3. Descripción de la metodología desarrollada para la obtención de datos...	9-4
9.4. Análisis de resultados.....	9-6
9.5. Evaluación de la seguridad estructural	9-8
10.0. USO DEL SUELO Y TENDENCIAS DE DESARROLLO FUTURO.....	10-1
10.1. Introducción.....	10-1
10.2. Estructura provincial.....	10-2
10.2.1. Consideraciones sobre el uso del suelo en la provincia...	10-2
10.3. Evolución de la utilización del suelo.....	10-5

10.4.	Valle de Tulum.....	10-6
10.5.	Población y vivienda.....	10-9
10.6.	Tendencias actuales de crecimiento..	10-11
10.6.1.	Uso agrícola.....	10-11
10.6.2.	Uso industrial.....	10-11
10.6.3.	Uso habitacional.....	10-12
10.7.	Conclusiones.....	10-13
11.0.	DAÑOS PROBABLES EN LAS CONSTRUCCIONES.....	11-1
11.1.	Objetivo.....	11-1
11.2.	Caracterización del movimiento del terreno.....	11-2
11.3.	Estimación del comportamiento del terreno.....	11-3
11.4.	Características de las construcciones.....	11-4
11.5.	Evaluación del daño potencial.....	11-5
	Potencial de daño.....	11-7
12.0.	ZONIFICACION DEL PELIGRO SISMICO.....	12-1
12.1.	Objetivo.....	12-1
12.2.	Recapitulación de los factores que contribuyen a la peligrosidad sísmica en el Valle de Tulum.....	12-1
12.3.	Mapa de zonificación del peligro sísmico.....	12-2
12.4.	Recomendaciones para diseño.....	12-4
12.5.	Resumen y conclusiones.....	12-6

BIBLIOGRAFIA.

B- TABLAS.

- 4-1: Criterios morfológicos utilizados para estimar la edad del desplazamiento de fallas.
- 4-2: Resumen de las fuentes sísmicas potenciales.
- 5-1: Terremotos asociados con fallas de la corteza.
- 6-1: Resumen de la información sobre fuentes sísmicas potenciales usados para el análisis de exposición sísmica.
- 7-1: Registro de fuertes movimientos-San Juan-Argentina.
- 9-1: Clasificación de las construcciones según el tipo de material y resistencia a sismos.
- 9-2: Clasificación de las construcciones según el número de pisos.
- 9-3: Determinación experimental del período fundamental de vibración de edificios.
- 11-1: Relación entre movimiento del terreno y porcentaje de construcciones dañadas.
- 11-2: Categorización del movimiento del terreno, condiciones del subsuelo, tipos de construcciones y daño potencial.
- 11-3: Potencial de daño de los distintos núcleos urbanos.

C- FIGURAS.

- 2-1: República Argentina:Ubicación de la Provincia de San Juan.
- 2-2: Provincia de San Juan:ubicación del área bajo estudio.
- 2-3: Valle de Tulum:Delimitación del área bajo estudio.
- 3-1: Esquema de tectónica de placas.
- 3-2: Sección transversal esquemática de la tectónica. Provincia de San Juan.
- 3-3: Mapas de fallas de la Provincia de San Juan.
- 4-1: Fuentes sísmicas potenciales en la provincia de San Juan.
- 4-2: Falla de la Caída del Tigre:Mapa de ubicación.
- 4-3: Falla de la Precordillera:La Laja-trinchera 2.
- 5-1: Recurrencia de la zona de Benioff($h > 65\text{km}$) de 1917 a 1980.
- 5-2: Terremotos superficiales(de corteza)con profundidad de foco $\geq 65\text{km}$ y $M \geq 6$.
- 5-3: Recurrencia para los terremotos superficiales(de corteza) ($h \leq 65\text{ km}$) de 1917 a 1980.
- 6-1: Relaciones medias de atenuación para la aceleración instrumental pico de terremotos superficiales en San Juan.
- 6-2: Comparación de las relaciones de atenuación con las aceleraciones pico registradas durante el terremoto de 1977.
- 6-3: Valle de Tulum. Mapa de exposición sísmica:curvas de las aceleraciones instrumentales pico más probables en 50 años.
- 6-4: Valle de Tulum. Mapa de exposición sísmica:curvas de las aceleraciones instrumentales pico que tienen una probabilidad de excedencia de 10% en 50 años.
- 6-5: Valle de Tulum.Mapa de exposición sísmica:curvas de período de retorno para una aceleración instrumental pico de 0,2 g.

- 6-6: Mapa de exposición sísmica: curvas de las velocidades instrumentales pico más probables en 50 años.
- 7-1: Valle de Tulum: investigaciones de campaña para el estudio de las condiciones del subsuelo.
- 7-2: Valle de Tulum: Perfiles transversales del subsuelo N°1 y N°2.
- 7-3: Valle de Tulum: Rangos granulométricos para materiales típicos
- 7-4: Comparación de la variación del módulo de corte con la profundidad en el cono y en la llanura aluvial.
- 7-5: Daño estructural provocado por el terremoto de 1977.
- 7-6: Espectro de respuesta del terremoto del 23 de noviembre de 1977. (Sede INPRES).
- 7-7: Réplica del 6 de diciembre de 1977: espectros normalizados para una misma distancia epicentral.
- 7-8: Cálculos teóricos de respuesta en sitios típicos de llanura aluvial.
- 7-9: Espectros de respuesta teóricos para sitios típicos de llanura aluvial.
- 7-10: Período de vibración de edificios tipo.
- 7-11: Formas espectrales para diseño recomendadas para el Valle de Tulum.
- 7-12: Valle de Tulum: zona con gran licuefacción durante terremotos previos.
- 8-1: Correlación entre el comportamiento de suelos arenosos y su resistencia a la penetración.
- 8-2: Zona de ocurrencia de licuefacción pronosticada para el terremoto del 23/XI/77.
- 8-3: Mapa de peligro de licuefacción para el Valle de Tulum.
- 9-1: Valle de Tulum: Construcciones según el tipo de material y resistencia a sismos.

- 9-2: Gran San Juan: Construcciones según el tipo de material y resistencia a sismos.
- 10-1: Valle de Tulum: Densidad poblacional.
- 10-2: Valle de Tulum: Uso del suelo.
- 11-1: Valle de Tulum: Daños probables en las construcciones.
- 11-2: Gran San Juan: Daños probables en las construcciones.
- 12-1: Zonificación de la peligrosidad sísmica.
- 12-2: Zonificación propuesta para diseño estructural.
- 12-3: Espectros recomendados para diseño estructural.

1.0. RESUMEN Y CONCLUSIONES.

1. Resumen.

La Provincia de San Juan, situada en la región centro-oeste de la República Argentina, en el borde oriental de la Cordillera de Los Andes, ha sido escenario de numerosos terremotos moderados e intensos. El Valle de Tulum que constituye la zona de mayor importancia de la provincia, ya que contiene casi el 89% de su población y en él se concentra más del 90% de la actividad económica provincial, ha sido afectada por terremotos devastadores, entre los que puede citarse el de 1944 de(Ms) 7,4; el de 1952 de(Ms) 7,0 y el de 1977 de (Ms) 7,4.

Los daños provocados han sido causados principalmente por el movimiento del terreno, aunque también por la licuefacción de suelos(sobre todo durante el terremoto de 1977).

Debido a la alta peligrosidad sísmica de la Provincia y el riesgo que ello implica para la vida y bienes de sus habitantes, el Gobierno Nacional, a través del Instituto Nacional de Prevención Sísmica(INPRES) decidió llevar a cabo un estudio de microzonificación sísmica del Valle de Tulum. A tal fin y a través de un concurso público de méritos, títulos y antecedentes, seleccionó a nuestra firma, Gil-Nafá-Zamarbide, Ingenieros Consultores S.R.L., la que conjuntamente con nuestro subcontratista principal, Woodward-Clyde Consultants, realizó el estudio durante 18 meses. El presente informe presenta los resultados de esa investigación.

Los objetivos de este estudio pueden resumirse en: definir fuentes potenciales de actividad sísmica; estudiar las características del subsuelo, evaluar su comportamiento ante la acción sísmica y estimar el potencial de licuefacción; estimar los niveles potenciales de las amplitudes del movimiento del terreno en los distintos sitios; identificar las áreas probables donde puede producirse licuefacción y aquellas donde puede ocurrir rotura superficial; determinar las

características sismorresistentes de las construcciones existentes en el Valle y evaluar los niveles probables de daños ante la acción sísmica.

De la materialización de los mencionados objetivos se obtuvieron resultados que permitieron confeccionar varios mapas de zonificación, los que posteriormente se resumieron en dos: uno que presenta la zonificación del peligro sísmico y otro que divide el área bajo estudio en distintas zonas con características propias, a los fines del diseño estructural sismorresistente. Además se dan recomendaciones / destinadas a su utilización en el código de edificación.

Esta investigación se llevó a cabo durante los años 1981 y 1982 y comprendió: estudios de campaña a cargo de geólogos y especialistas en mecánica de suelos; relevamiento de las construcciones existentes en los núcleos urbanos del Valle de Tulum; revisión de la literatura pertinente; consultas con otros investigadores dedicados al estudio de las condiciones sismotectónicas y del subsuelo de la provincia y un análisis de la información obtenida. Los estudios de campaña fueron complementados con fotointerpretación de imágenes aéreas convencionales y satelitarias (LANDSAT), reconocimientos aéreos y terrestres, confección de mapas de detalle de áreas limitadas, excavación de siete trincheras a través de las trazas de fallas activas, determinación mediante el método del carbono radioactivo de la edad de muestras seleccionadas y ejecución de una serie de perforaciones, programadas para determinar las características del / subsuelo en sitios predeterminados.

El análisis de la información incluyó una revisión de toda la información referente a la sismicidad de la zona, proporcionada por los estudios llevados a cabo hasta el presente por el INPRES. Además se realizó un análisis de exposición sísmica, se evaluó el potencial de licuefacción mediante el uso de un programa de computadora, se evaluó la /

seguridad estructural de las construcciones encuestadas y se estimó el daño probable a las mismas, ante la ocurrencia de los valores de las amplitudes del movimiento del terreno, que resultaron del análisis de exposición sísmica. Los resultados de estos estudios conducen a las siguientes conclusiones:

1.2. Conclusiones.

Algunas de las conclusiones más importantes obtenidas durante este estudio son las siguientes:

- a) La Provincia de San Juan está ubicada en una región afectada por la convergencia de las placas Sudamericana y de Nazca, según la teoría actual de la tectónica de placas.
- b) La configuración tectónica regional y el régimen de es fuerzos en la Provincia es de compresión este-oeste.
- c) La sismicidad regional tiene lugar: (1) dentro de la pla ca de Nazca subducida, a aproximadamente a 100 km deba jo de la Provincia y (2) dentro de la placa Sudamerica na, por encima de una profundidad de aproximadamente 65 km.
- d) La sismicidad de la zona de Benioff está asociada con la placa de Nazca y tiene una orientación casi horizon tal debajo de la Provincia.
- e) La base de la corteza parece ser una zona de deforma- ción dúctil generalmente asfsmica. Se considera que los rasgos estructurales observados en la superficie dentro de la provincia, son principalmente fallas in- versas que pueden emanar de esta zona.

- f) En base al estudio de las fallas activas, se han identificado seis fuentes sísmicas potenciales de la corteza dentro de la provincia. Como se resumen en Tabla 5-1, el terremoto potencial máximo para una de las fuentes se estima de magnitud (Ms) 7-1/2, para cuatro de ellas de magnitud (Ms) 7-3/4 y para la otra de magnitud (Ms) 8. Los intervalos de recurrencia estimados para esos terremotos potenciales máximos van desde 250 a 20.000 años.
- g) El Valle de Tulum tiene la exposición sísmica más alta en la provincia debido a la proximidad de la falla de la Precordillera, al buzamiento de dicha falla hacia el este (bajo el valle), y al peligro potencial que se produzcan terremotos moderados y grandes en esa falla.
- h) Los niveles de aceleración instrumental con una probabilidad anual de excedencia del 2% en 50 años, oscilan entre 0,25 y 0,35 g en el Valle de Tulum. De acuerdo con la terminología empleada por el INPRES (1977), esa aceleración se denomina aceleración máxima más probable.
- i) Los niveles estimados de aceleración instrumental con una probabilidad del 10% de ser excedidos en 50 años, oscilan entre 0,65 y 0,75 g para el Valle de Tulum.
- j) Existe una alta probabilidad de que se produzca licuefacción en la zona irrigada del Valle de Tulum, ante la ocurrencia de terremotos moderados o intensos. Esto se debe a la napa freática alta, a la relativamente baja densidad de los suelos y a la exposición sísmica relativamente alta en el Valle.

- k) De las 83.683 construcciones existentes en los núcleos urbanos del área bajo estudio a la fecha de la encuesta, 49.010(58,6%) fueron clasificadas como sismorresistentes y 34.673(41,4%) como no sismorresistentes. De estas últimas aproximadamente el 96% son de adobe. La proporción de construcciones de uno u otro tipo varía ampliamente según la localidad(ver Tabla 9-1).
- l) Predominan en el Valle de Tulum las localidades(núcleos urbanos) con potencial de daño importante(DI) y alto(DA). De las treinta y seis localidades encuestadas (ver Tabla 11-3) dos(6%) tienen potencial de daños moderado(DM); trece (36%) potencial de daños importante(DI) y el mismo número potencial de daño alto(DA), mientras que ocho localidades (22%) tienen potencial de daño muy alto(DMA).
- m) Los resultados del presente estudio se han condensado en dos mapas. Uno de ellos(Figura 12-1) es el mapa / unificado de peligrosidad sísmica; en él se divide el área bajo estudio en seis zonas con distintas características. El otro mapa(Figura 12-2) constituye una zonificación con propósito de diseño estructural. Este último mapa considera tres zonas, que se diferencian entre si por la aceleración efectiva y el espectro de diseño que les corresponde.

2.0. INTRODUCCION.

La microzonificación sísmica es un proceso que tiene por finalidad la identificación de importantes características geológicas, sismológicas, hidrológicas y geotectónicas en una determinada región, con el objeto de evaluar su incidencia e incorporarlas en el planeamiento del uso de la tierra y en el diseño y construcción de edificios más seguros, de modo de reducir el daño que producen los terremotos a las personas y a sus propiedades.(M.Sherif,1980).

En otras palabras, ya que los terremotos son inevitables, mediante la microzonificación se tiende a reducir sus efectos. De este modo, a través de un estudio de riesgo sísmico en detalle, se pueden obtener mapas destinados a la planificación del desarrollo urbano y destino de las tierras, como así mismo mapas que provean información acerca de los distintos niveles probables de daños que se producirían en zonas pobladas ante la ocurrencia de un determinado terremoto, destinados a los organismos de ayuda y socorro / frente a desastres.

2.1. Ubicación del área bajo estudio.

La Provincia de San Juan, en la que se ubica el área bajo estudio, está situada aproximadamente entre los 28°37' y los 32°20' de latitud sur y los 66°50' y 70°25' de longitud oeste, limitando al norte y al este con la Provincia de La Rioja, al sur con la Provincia de Mendoza, al sureste con San Luis y al oeste con la República de Chile(Figuras 2-1 y 2-2).

Tiene una superficie de 92.789 km² de los cuales aproximadamente el 10% posee aptitudes agrícolas. Su población ascendía en 1980 a 465.976 habitantes(Censo 1980).

Las principales áreas de cultivos se encuentran en las

zonas deprimidas o de llanuras, agrupadas en seis valles principales denominados: de Jáchal, de Iglesia, de Calingasta, de Ullum-Zonda, de Tulum y de Valle Fértil.

La zona objeto de este estudio comprende gran parte del Valle de Tulum, el cual tiene forma alargada en dirección norte-sur y ocupa la parte centro sur de la Provincia de San Juan. Dicho valle tiene una longitud aproximada de 100 km y un ancho variable entre 5 y 50 km abarcando una / superficie de aproximadamente 323.000 hectáreas (Figura 2-3).

El Valle de Tulum está limitado al oeste por las Sierras Chicas de Zonda, Lomas de Las Tapias y Sierras del Villicum; al este por la Pampa del Tigre y Sierras de Pie de Palo; al norte el límite se corresponde con una línea que, con rumbo oeste-este, pasa aproximadamente a 8 km al norte de las Lomas del Salado y al sur, por el paralelo que pasa por la estación Huanacache del F.C.G.S. Martín.

La zona estudiada fue definida originariamente por / las autoridades del INPRES y abarca una superficie de 2.200 km² aproximadamente, o sea alrededor del 68% de la superficie del Valle y casi un 2,4% de la superficie total de la Provincia.

La zona comprende parte o la totalidad de los siguientes departamentos: Capital, Santa Lucía, Rawson, Rivadavia, Pocito, Angaco, San Martín, 9 de Julio, Caucete, Albardón, 25 de Mayo, Sarmiento y Chimbas.

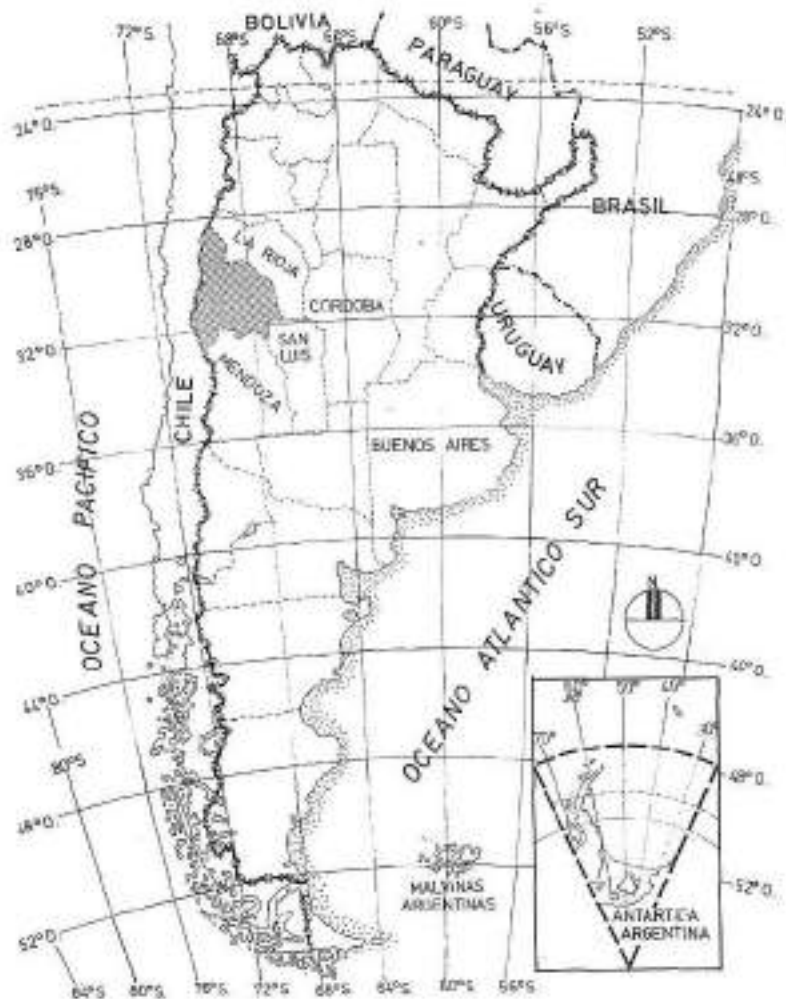
2.2. Objetivos.

Este estudio tiene como objetivos: conocer los factores sísmológicos, geológicos y geotécnicos que influyen en la distribución espacial de peligros sísmicos potenciales en la zona bajo estudio, caracterizar la zonificación de / esos peligros y resumir esa zonificación en una serie de ma

pas. Dichos mapas deben mostrar principalmente: (a) fuentes potenciales de actividad sísmica; (b) la probabilidad de excedencia de ciertos valores picos del movimiento del suelo (aceleración, velocidad) durante períodos determinados, por ejemplo 50 y 100 años y (c) áreas de licuefacción potencial. El alcance o contenido del trabajo, que se describe en 2.3 se planificó para lograr esos objetivos.

2.3. Alcance del trabajo.

El trabajo abarcó siete tópicos de estudio considerados fundamentales. Estos son: 1) la identificación de fuentes potenciales de actividad sísmica (fallas activas) y áreas potenciales de rotura del suelo como resultado directo del desplazamiento de fallas; 2) revisión de la información referente a sismicidad histórica, la que fue proporcionada por el INPRES; 3) evaluación de las condiciones del agua subterránea en el Valle del Tulum; 4) evaluación de la respuesta del suelo en el área estudiada; 5) identificación de áreas / de licuefacción potencial; 6) relevamientos de las construcciones existentes, identificación de sus características / principales y evaluación de su seguridad estructural; 7) formulación de criterios de daño y de riesgo y lineamientos para zonificación.



AMERICA DEL SUR

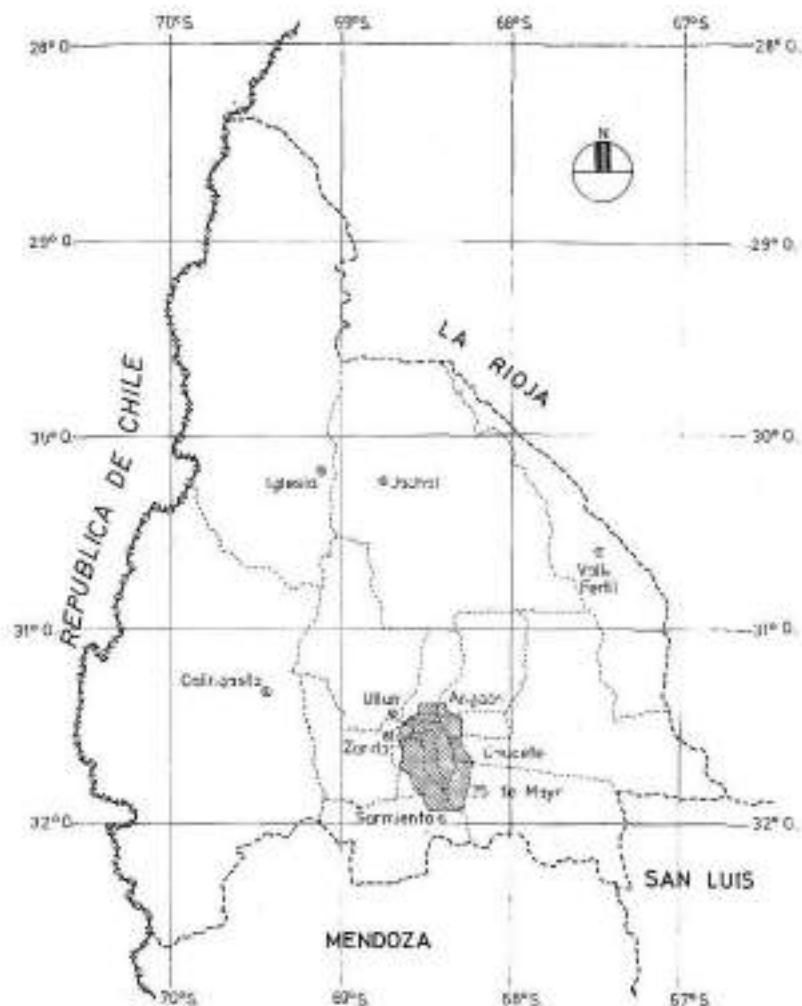
UBICACION DE LA REPUBLICA ARGENTINA

REFERENCIAS

 Provincia de San Juan

0 250 500 Km

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA		Figura
Gil-Nafa-Zamabide INGENIEROS CONSULTORES SRL		2-1
REPUBLICA ARGENTINA UBICACION DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN		



REPUBLICA ARGENTINA

UBICACIÓN DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN

DATOS GENERALES

Superficie de la provincia = 92.785 Km² (según D.P. Catastro)

Población total (1980) = 465.975 habitantes (según C.N.P.V. - 80)

REFERENCIAS

 Valle de Tulum (ubicación del área bajo estudio)

0 25 50 Km.

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

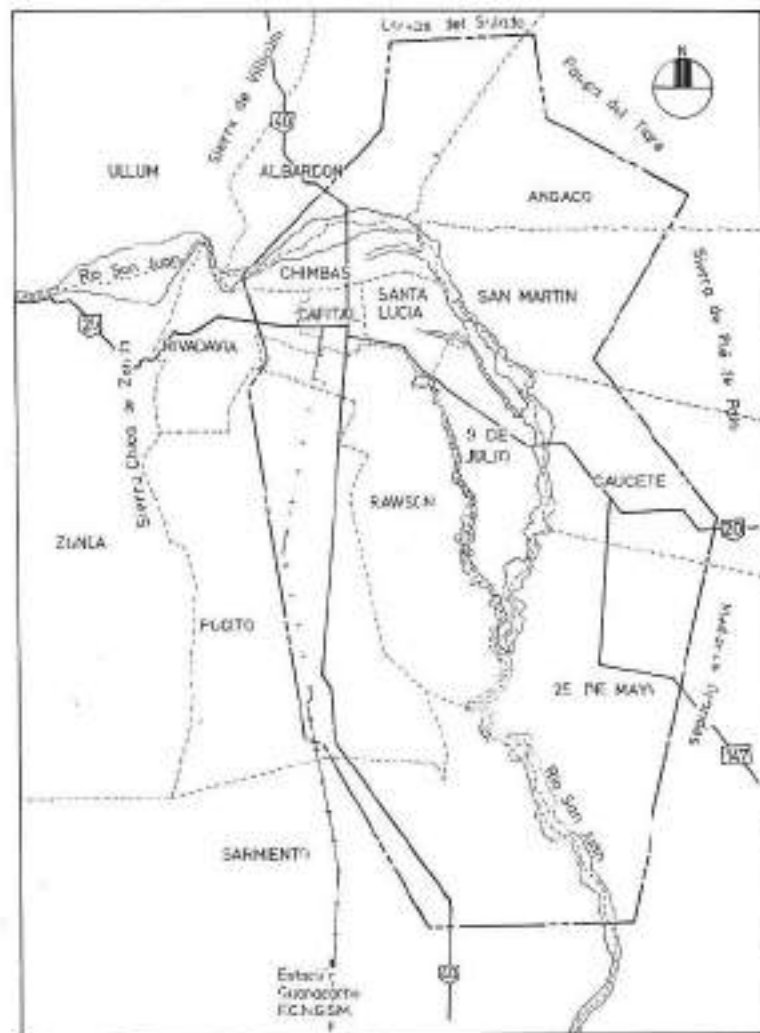
MICROZONIFICACIÓN SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA

PROVINCIA DE SAN JUAN
UBICACIÓN DEL AREA BAJO ESTUDIO

Figura

2-2

Gil-Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



PROVINCIA DE SAN JUAN
UBICACION DEL AREA BAJO ESTUDIO

REFERENCIAS

- Delimitación del área bajo estudio
- Rutas
- - - - - Límites interdepartamentales
- +—+— Ferrocarril NGS&M



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		Figura 2-3
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARQUITANA	VALLE DE TULUM DELIMITACION DEL AREA BAJO ESTUDIO	
Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		

3.0. CONFIGURACION SISMOTECTONICA REGIONAL Y LOCAL.

3.1. Configuración geológico-tectónica regional.

Según conceptos actuales de la teoría de la tectónica de placas, el límite entre la placa Sudamericana y la placa de Nazca es convergente (Isacks y otros, 1968; Herron, 1972; Toksoz, 1976; Uyeda y Kanamori, 1979; Jordan y otros, en imprenta). Esta zona de convergencia se encuentra a lo largo de la fosa Perú-Chile, ubicada a 350 km al oeste de la Provincia de San Juan, Argentina (Figura 3-1). A lo largo de la fosa Perú-Chile, la placa de Nazca que se mueve hacia el este, subduce bajo la placa Sudamericana que se mueve en dirección oeste. La proporción del movimiento relativo entre ambas placas en la latitud donde se ubica la Provincia de San Juan es relativamente alta, aproximadamente 11 cm/año, basado en un promedio de 9,7 cm/año en dirección este, para la placa de Nazca y un promedio de 1,4 cm/año en dirección oeste para la placa Sudamericana. (Uyeda y Kanamori, 1979).

La orientación e inclinación de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana se puede determinar por la sismicidad de la zona de Benioff asociada con la placa de Nazca. Esta zona de sismicidad muestra que la placa subducida tiene una inclinación que va de aproximadamente 5° a 30° debajo de la placa Sudamericana (Stauder, 1973; Barazangi e Isacks, 1976). La inclinación es particularmente pequeña bajo la Provincia de San Juan, donde la placa subducida tiene profundidad media de 100 km y buza aproximadamente 5° a 10° hacia el este.

Sin tener en cuenta qué conceptos se utilizan finalmente para explicar los cambios de la inclinación de la placa subducida, se cree que la convergencia de la placa de Nazca con la placa Sudamericana aparentemente introduce un régimen de esfuerzos de compresión en la placa Sudamericana debajo de la Provincia de San Juan. Este ambiente compresional ha existido probablemente durante, por lo menos, 20 millones de años, es decir desde la época Miocena cuando se emplazó el /

batolito andino (Stauder, 1973) y domina la configuración estructural de la región, siendo responsable de la orientación y sentido de desplazamiento en las fallas activas y de las características sísmicas de la Provincia.

En resumen, la configuración geológico-tectónica regional de la Provincia de San Juan se caracteriza por compresión predominantemente este-oeste y por fenómenos de vulcanismo, plutonismo, fallamiento y sedimentación. Las mayores unidades geológicas y tectónicas de importancia para / San Juan incluyen: la placa Pacífica de subducción, Los Andes, la Precordillera y las Sierras Pampeanas.

Los movimientos que se producen a lo largo del borde casi horizontal de las placas parecen ser, directa o indirectamente, la causa que da origen a la componente de sollicitación en dirección este, cerca de la superficie. Este régimen de sollicitación ha originado fallas inversas generalmente de rumbo norte-sur en la Provincia de San Juan y puede ser la causa del movimiento ascendente de las elevaciones dómicas como la Sierra de Pie de Palo.

Los Andes, incluyendo la Cordillera Costera y la Cordillera Principal (Harrington, 1956), consisten principalmente en estratos sedimentarios marinos Mesozoicos y depósitos / volcánicos que han sido intruidos por plutones del Mesozoico al Cenozoico. Volcanes andesíticos del Cenozoico superior subsecuente forman muchos de los más altos picos de Los Andes (James, 1971; Zeil, 1979). El grosor de la corteza en la / que se sitúan Los Andes es de aproximadamente 70 km (James, 1971).

El nivel de sismicidad en Los Andes y en la corteza subyacente, es bajo con respecto al de la fosa Perú-Chile / hacia el oeste y al de la Provincia de San Juan, hacia el este. Los Andes, por consiguiente, parecen ser un gran bloque en la corteza alrededor del cual tiene lugar la liberación de tensiones.

La Precordillera se halla al este de Los Andes y forma una cadena montañosa en dirección norte-sur. Se caracteriza por fallas inversas con buzamiento hacia el oeste, a lo largo de las cuales los estratos terciarios y paleozoicos con buzamiento oeste han sido presionados hacia el este. El resultado son tierras altas de rumbo norte-sur separadas por valles intermontanos angostos. Las fallas inversas parecen estar respondiendo a esfuerzos impuestos por un acortamiento de la corteza debajo de Los Andes o a esfuerzos impuestos directa o indirectamente por la placa del Pacífico subyacente(Figura 3-2).

La Precordillera está separada de Los Andes, en la Provincia de San Juan, por una gran discontinuidad estructural, denominada aquí Falla de la Caída del Tigre, que es una falla inversa con buzamiento hacia el oeste, con una importante componente de desplazamiento de rumbo.

Al este de la Precordillera se encuentran las Sierras Pampeanas. Esta región está constituida por montañas de / orientación generalmente norte-sur, compuesta por rocas ígneas y metamórficas Precámbricas y Paleozoicas, separadas / por valles intermontanos rellenos con aluviones. Se caracteriza por dos tipos de fallamiento; a lo largo de los márgenes occidentales la región es presionada hacia el oeste a lo largo de fallas inversas de buzamiento este; dentro de ella las áreas morfológicamente altas(como la Sierra de Pie de Palo) están limitadas por fallas de inclinación con ángulo muy elevado.

3.2. Configuración sísmológica regional.

Entre las latitudes 27°S y 33°S, la sismicidad regional se caracteriza por lo siguiente:(1)alta concentración de actividad sísmica en la fosa Perú-Chile donde la placa / del Pacífico se subduce debajo de la placa Sudamericana;

(2) sismicidad de corteza al este de Los Andes en los 65 Km superiores de la litósfera; (3) pequeña inclinación de la zona de sismicidad de Benioff a una profundidad de aproximadamente 100 km debajo de la Provincia de San Juan; (4) brecha en la sismicidad entre los 65 y 100 km debajo de la Provincia de San Juan; (5) brecha en la sismicidad de la zona de Benioff entre los 320 y 525 km de profundidad al este de la Provincia de San Juan; y (6) ocurrencia, aparentemente cíclica o episódica, de terremotos moderados a intensos en la corteza.

Dentro de esta configuración sismológica global, son de particular interés, para este proyecto la sismicidad de la zona de Benioff y la de la corteza, ambas al este de Los Andes.

Hay ausencia general de sismicidad entre los 65 y 100 km de profundidad, lo que sugiere que el límite entre las placas Pacífica y Sudamericana constituye una zona de deformación asísmica. A dicha zona se la denomina en este estudio "zona de deformación dúctil". Tiene un espesor de 30 a 50 km y se la considera similar a la zona de despegue o "decollement" propuesta por ciertos investigadores, debajo del oeste de Norteamérica (Harrinson y otros, 1980; Allmendinger y Jordan, 1981). A pesar que el mecanismo exacto no es bien conocido, parece ser que los esfuerzos transmitidos a través de la zona de deformación dúctil de la corteza situada / por encima, pueden ser la causa de los desplazamiento a lo largo de las fallas observadas en la superficie.

Las sismicidad de la corteza tiene lugar a lo largo de fallas activas y parece ser episódica en su ocurrencia. El registro de la sismicidad histórica hace pensar que no hubieron terremotos moderados o intensos en la Provincia de San Juan en los siglos 16, 17 y parte del 18. Sin embargo por haber estado la población muy dispersa puede ser que hayan ocurrido eventos de estas características, sin que se

les diera demasiada trascendencia y por eso no figuran en las crónicas de la época. En los últimos 200 años un cierto número de terremotos moderados a grandes (magnitud mayor de 6) ocurrieron en la región; entre los que se cuentan los de 1782 y 1861, ambos cerca de Mendoza, este último de magnitud (Ms) 7; el de 1927 al norte de Mendoza de magnitud (Ms) 7,4 y cuatro en la provincia de San Juan. En consecuencia, del registro de la sismicidad histórica regional se desprende que no hubieron grandes terremotos durante aproximadamente 220 años (1560 a 1782), y que luego en un período de aproximadamente 200 años (1782 a 1981), se produjeron siete terremotos de moderados a intensos. No se conoce la causa de esta periodicidad; no obstante, es coherente con la observación de Stauder (1973) de que el proceso de subducción no ocurre instantáneamente en un movimiento continuo, sino más bien que ello sucede en intervalos discretos y localizados. Esta periodicidad coincide también con los estudios de McGuiarre (1977) acerca del registro histórico de China donde la sismicidad es episódica.

3.3. Configuración geológico-tectónica de la Provincia de San Juan.

La configuración tectónica y geológica de la Provincia de San Juan se puede resumir en términos de tres rasgos morfoestructurales mayores. Ellos son: Los Andes (o Cordillera), la Precordillera y las Sierras Pampeanas (Figura 3-3). Estos rasgos se orientan generalmente de norte a sur y están separados por fallas.

La geología de basamento de Los Andes se caracteriza por unidades volcánicas y sedimentarias marinas del Mesozoico, intruidas por plutones del Mesozoico superior y Cenozoico Inferior durante la orogenia andina. Estas rocas fueron subsecuentemente cubiertas por unidades volcánicas andesíticas cenozoicas. Los Andes se convirtieron en la mayor región

montañosa durante la orogenia andina. Siguiendo esta orogenia, en el periodo Miocénico, tuvieron lugar vulcanismos, deformación y elevación.

La precordillera se caracteriza por estratos sedimentarios paleozoicos que han sido deformados por plegamiento y fallamiento. Además de estos estratos, también se hallan presentes unidades volcánicas y sedimentarias del Cenozoico superior y Mesozoico. Dentro de la secuencia sedimentaria paleozoica se encuentran los estratos marinos pre-pensilvánicos que consisten principalmente en varios miles de metros de esquistos arcillosos (lutitas), grauvacas y calizas. Los estratos paleozoico y mesozoico pos-pensilvánicos son continentales en origen e incluyen areniscas, lutitas conglomerados y volcánicos. Los estratos cenozoicos, principalmente del Mioceno y Plioceno, son también continentales en origen e incluyen conglomerado, arenisca, toba y limolita. Estos estratos terciarios se encuentran frecuentemente sobre los flancos de la Precordillera y en los valles donde se llevaron a cabo los estudios de fallas durante esta investigación.

Los sedimentos marinos del periodo pre-pensilvánico fueron depositados en una cuenca miogeosinclinal a lo largo del margen occidental de Sudamérica. Una deformación paleozoica subsecuente en la región, resultó en una elevación y en el cambio de un ambiente de acumulación marina a otro de acumulación continental. Durante este periodo de deformación tuvieron lugar gran parte de los prominentes plegamientos paleozoicos observados en la provincia. Hubo también deformación y elevación durante la orogenia andina del Mesozoico superior hasta el Cenozoico inferior, y el evento orogénico del Mioceno originó las serranías longitudinales y los valles bordeados por fallas, incluyendo aquellos observados en la provincia.

Las Sierras Pampeanas se caracterizan por rocas cris-

talinas precámbricas y también incluyen estratos sedimentarios y volcánicos triásicos. Estas sierras se elevaron hacia el final del paleozoico y han permanecido como zonas altas hasta el presente. Elevaciones y fallas reiteradas en el Mioceno y Plioceno produjeron la actual configuración / morfológica que incluye cadenas montañosas orientadas de norte a sur, discontinuas y redondeadas, que están separadas por anchos valles intermontanos.

3.3.1. Geología cuaternaria.

Los depósitos de la era cuaternaria son de origen aluvial y lacustre y llenan los valles intermontanos en las Sierras Pampeanas, la Precordillera y el Valle de Calingasta entre la Cordillera Principal de Los Andes y la Precordillera. Estos depósitos se encuentran en conos aluviales, bajadas, playas, terrazas de río y llanuras aluviales activas. Las edades de estas formaciones han sido estimadas en este estudio en base a lo siguiente: la variedad de características morfológicas, incluyendo pendientes superficiales y grado de corte por corriente de drenaje; las relaciones espaciales con respecto a formaciones adyacentes fluviales y aluviales; y dos dataciones por el método del carbono radioactivo.

Las edades estimadas se calibraron usando dos dataciones por el método del carbono radioactivo y comparándolas con las características morfológicas generales y la morfología de escarpas de falla observadas en la provincia Geológica Basin and Range de Norteamérica (Wallace, 1977; Woodward-Clyde Consultants, 1981).

Las edades que se consideraron durante este estudio para los depósitos Cuaternarios son:

Holoceno - menos de 10.000 años antes del presente

Cuaternario superior-10.000 a 100.000 años antes del presente

Cuaternario inferior -100.000 a 2.000.000 años antes del presente

Pre-cuaternario - más de 2.000.000 de años antes del presente.

Estas edades, combinadas con la morfología de las escarpas de fallas se usaron para evaluar la actividad de las fallas en la Provincia.

3.3.2. Rasgos estructurales.

Aunque en la provincia de San Juan existen muchos tipos de rasgos estructurales, tales como el plegamiento espectacular ubicado al norte de la ciudad de San Juan, los de mayor interés para este estudio son las fallas. Se pueden encontrar dos grupos prominentes de fallas en la Provincia; uno que se orienta noreste-suroeste y el otro norte-sur.

Las fallas de orientación noreste-suroeste han sido / previamente identificadas mediante la observación de lineamientos sobre imágenes LANDSAT y anomalías geofísicas locales. Sin embargo, debido a que no se observó ninguna expresión en superficie relacionada con fallamiento en los sedimentos cuaternarios, estos rasgos no se tuvieron en cuenta durante el análisis de las fuentes sísmicas potenciales.

Dentro del conjunto de fallas de orientación norte-sur se identificaron tres subgrupos durante esta investigación, que son:

- a) Fallas individuales o zonas de fallas consideradas como fuentes sísmicas potenciales
- b) Región de fallas de basamento en la Precordillera que incluye una o más fuentes sísmicas potenciales. No se conoce la época de los desplazamientos más recientes de las fallas individuales en ésta región.

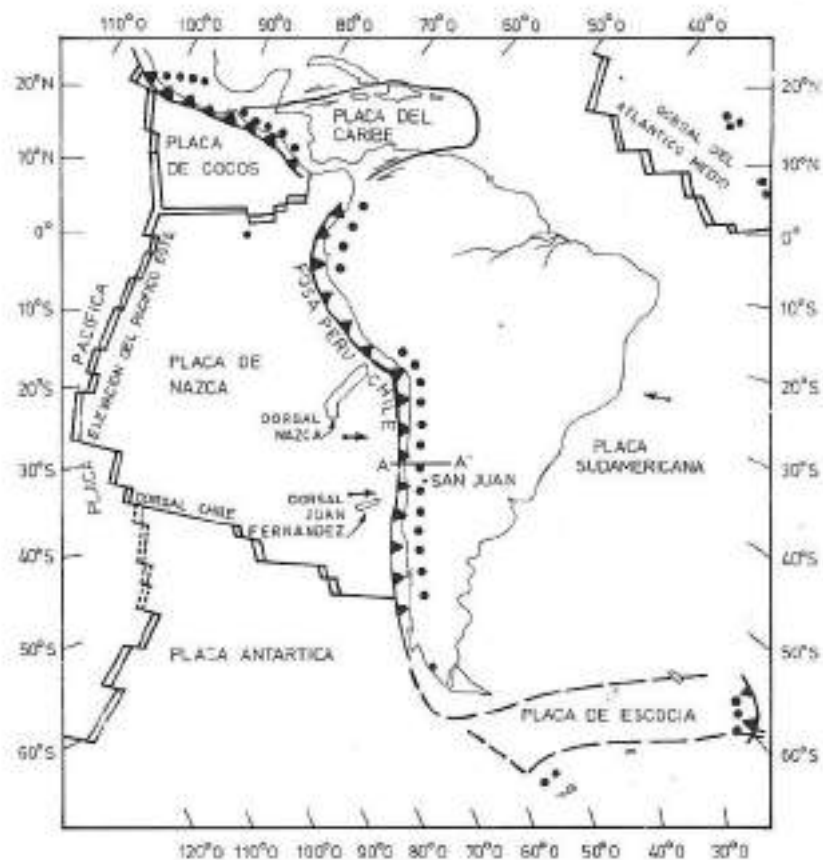
- c) Fallas o zonas de fallas que no se consideran fuentes sísmicas.

Los dos primeros subgrupos constituyen las fuentes potenciales de terremotos que se consideran en el análisis de exposición sísmica y contienen las zonas potenciales de ruptura de superficie que se discuten más adelante. El tercer subgrupo no se analiza en detalle en este informe, por cuanto no parece contener fuentes potenciales de terremotos.

3.3.3. Modelo tectónico.

El modelo tectónico regional ilustrado en la Figura 3-2 incluye la Provincia de San Juan. Sobre la base de los conceptos propuestos por Baldis y otros(1979) y Jordan y otros(en imprenta) y aplicando los resultados de esta investigación, creemos que ese modelo tectónico se adapta a la región de San Juan, la cual está sujeta a compresión en sentido este-oeste. Esta compresión es el resultado de un movimiento en dirección oeste de la placa Sudamericana relativo al movimiento en dirección este de la placa subducente de Nazca. Entre ambas se ubica una zona de deformación asísmica o de sismicidad muy baja, justamente debajo de la provincia de San Juan.

La deformación dúctil en esta zona puede ser el producto de:(1)esfuerzos transmitidos por el movimiento de las dos placas que se transfieren recíprocamente; (2)esfuerzos asociados con el acortamiento de la corteza; o (3) una combinación de ambas causas de deformación en la corteza situada por encima. Esta deformación se está acomodando actualmente en la corteza, por desplazamiento a lo largo de un número de fallas inversas de buzamiento oeste y este y una elevación dómica limitada por fallas, como es la Sierra de Pie / de Palo.Estas fallas activas, incluyendo aquellas asociadas con la elevación dómica, son las fuentes sísmicas potenciales que se consideran en este estudio.

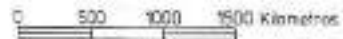


REFERENCIAS

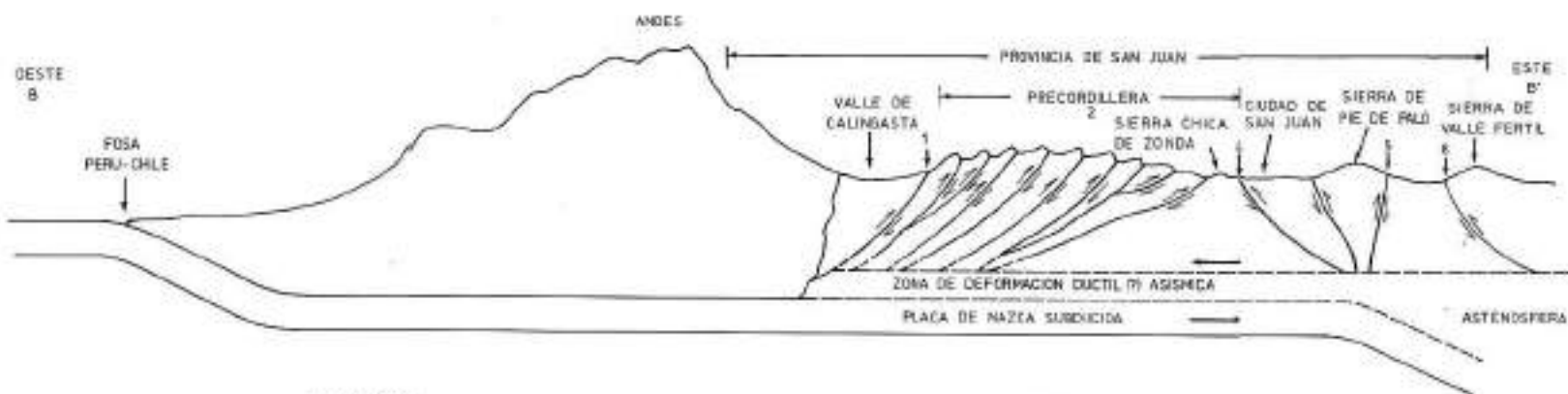
- Límite aproximado de placa
- Faja de rumbo mayor, la flecha indica el sentido de desplazamiento relativo
- ▲ Faja y zona de grandes tensiones, el dentado se indica en la placa subfuzida
- Ubicación de Volcanes
- ▭ Centro de expansión o elevación, desplazamiento a lo largo de falla transcurrente
- Dirección del movimiento de placa

NOTAS



1. Modificado después de Lowman (1978)
2. El corte A-A' se muestra en la figura 3-2
3. El símbolo de volcán representa uno o más volcanes



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA		ESQUEMA DE TECTONICA DE PLACAS
Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES SRL		Figura 3-1



REFERENCIAS

-  Faja, las flechas indican el sentido del desplazamiento relativo
-  Dirección del movimiento relativo de placa
- 1. Faja de la Caida del Tigre
- 2. Región de la Precordillera
- 3. Faja del Frente Norte (no indicada)
- 4. Faja de la Precordillera
- 5. Faja de la Sierra de Pie de Palo (traza vista)
- 6. Faja de la Sierra de Valle Fértil






NOTAS

1. La ubicación de la sección transversal se muestra en la figura 3-4 (1-15)
2. Las rasgas 1 a 6 se analizan en las secciones 5.3 a 5.8 respectivamente (2.7.6)

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TUMAH SAN JUAN, REPUBLICA PERUVIANA	SECCION TRANSVERSAL ESQUEMATICA DE LA TECTONICA PROVINCIA DE SAN JUAN	Figura 3-2
GIL-Nafa-Zamabide INGENIERO CIVIL/CIENAS DEL		



REFERENCIAS

-  Cordillera Principal
-  Cordillera Frontal
-  Precordillera
-  Sierras Pampeanas
-  Cuaternario
-  Anticlinal
-  Contacto Cuaternario - Pre-Cuaternario
-  Falla, los trazos indican el bloque descendido
- 1 Fallas Históricas
- 2 Fallas Holocenas
- 3 Fallas Pre-Holocenas o del Cuaternario superior
- 4 Fallas del Cuaternario medio
- 5 Fallas Pre-Cuaternarias
- 6 Fallas de actividad no conocida (principalmente en afloramientos rocosos)
- 7 Estructuras mayores inferidas basadas en datos geofísicos
- 8 Lineamientos Fotogeológicos
- 9 Falla o lineamiento no observado durante los reconocimientos aéreos
- Sin Número Fallas o lineamientos no analizados

0 25 50 75 100 125 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN LUIS-REPUBLICA ARGENTINA	MAPA DE FALLAS DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN	Figura 3-3
Gili-Nafa-Zambrido INGENIEROS CONSULTORES SRL		

4.0. FALLAS ACTIVAS EN LA PROVINCIA DE SAN JUAN.

4.1. Pautas para definir las fallas activas.

El término "falla activa" se emplea en este estudio para designar fallas, segmentos de fallas o sistemas de fallas a lo largo de los cuales se han producido desplazamientos relativos o ruptura en superficie, acompañados de terremotos moderados o intensos, durante el período Holoceno, es decir durante los últimos 10.000 años aproximadamente. En dichas fallas el intervalo de recurrencia entre los terremotos máximos ha sido calculado utilizando las técnicas que se describen más adelante.

Las fallas activas son importantes para esta investigación por dos razones fundamentales: (1) son fuentes potenciales de terremotos destructivos y (2) son fuentes potenciales de ruptura superficial. Dado que las fallas activas han producido terremotos entre moderados e intensos acompañados de ruptura superficial, es necesario estimar la probabilidad de ocurrencia futura de estos mismos terremotos y sus manifestaciones superficiales. Para esta investigación el INPRES seleccionó dos períodos de tiempo de interés: 50 y 100 años, para los cuales las fallas activas en la provincia de San Juan, identificadas en este estudio, se consideran fuentes sísmicas potenciales.

La magnitud del terremoto potencial máximo se ha estimado, para cada una de estas fuentes sísmicas, utilizando diversos indicadores tales como: cantidad y sentido del desplazamiento experimentado por cada falla, observable en las trincheras excavadas durante esta investigación; altura y longitud de la escarpa, número y altura de las terrazas fluviales y longitud de falla. Con estos datos y las relaciones entre magnitud y dimensiones de fallamiento, se estimaron las magnitudes de terremotos prehistóricos. Luego se estimó, para cada una de las fuentes sísmicas potenciales, el terremoto máximo que ellas podrían generar en el futuro.

Existen anomalías en los registros geológicos y sísmo-
lógicos recientes que es necesario considerar al evaluar el
terremoto potencial máximo y el intervalo de recurrencia de
este terremoto, para cada falla. Una de esas anomalías es que
muy poca o ninguna ruptura en superficie ha sido observada
después de los dos mayores terremotos superficiales que ocu-
rrieron en la provincia en los últimos cuarenta años. El te-
rremoto de 1944 con magnitud (Ms) 7,4 tuvo un desplazamien-
to de 30 cm. (Groeber, 1944) y una longitud de ruptura de 6 km.
El terremoto de 1977 con magnitud (Ms) 7,4 no presentó des-
plazamiento superficial observable hasta el presente. En con-
secuencia el registro geológico puede no tener evidencias
de todos los terremotos, resultando en una subestimación del
intervalo de recurrencia para estos terremotos.

La incertidumbre introducida por esta anomalía se ha
considerado en este estudio como se verá más adelante. Sin
embargo, deberá ser material de un estudio adicional, el gra-
do de aplicabilidad en la provincia de San Juan, de las re-
laciones que corresponden a la región geológica de Basin and
Range y aquellas de Slemmons (1977, 1982).

Otra anomalía está constituida por la preservación de
la morfología de la escarpa y la proporción de degradación
en la Precordillera y en las Sierras Pampeanas de la Provin-
cia de San Juan. Se ha usado la gran experiencia obtenida
en la región de Basin and Range como guía para la evaluación
de la edad de las escarpas. Las condiciones climáticas, tec-
tónicas y ambientales en la región de Basin and Range son
diferentes a las de la Precordillera y Sierras Pampeanas en
la Provincia de San Juan. Estas diferencias pueden conducir
a estimar como demasiado joven la edad de escarpas en esta
provincia. Esto es, las escarpas pueden observarse por pe-
ríodos de tiempos más largos en algunos casos, debido a la
consistencia del suelo por la acción de agentes cementantes
como el carbonato de calcio. Por lo tanto, el registro geo-
lógico puede estar dándonos indicaciones erróneas con res-

pecto a la edad del desplazamiento en una falla. Esto nos conducirá a hacer evaluaciones más conservadoras de la actividad de las fallas, en término del peligro sísmico potencial.

La tercera anomalía es la aparente periodicidad en los registros de sismicidad histórica. La sismicidad histórica ha sido más elevada en los últimos 120 años que en los anteriores 300 años. Los efectos de esta periodicidad se / tendrán en cuenta en la estimación de los intervalos de recurrencia.

Se han considerado todas estas anomalías en este estudio, pero no se ha podido lograr un conocimiento completo de su impacto en la estimación de los intervalos de recurrencia. Sin embargo, comparando los resultados obtenidos con los registros geológicos y sismológicos se pueden reducir las incertidumbres introducidas por estas anomalías. Se cree que los intervalos de recurrencia podrían estar afectados por un factor de incertidumbre de 2 ó 3. Esta afirmación está basada en el hecho de que el impacto de las anomalías en la ruptura superficial y en la preservación de las escarpas tienden a compensarse entre ellas y que los registros geológicos y de sismicidad histórica concuerdan dentro de un factor de 2 ó 3. Además, la experiencia de algunos de los investigadores que constituyen este equipo de trabajo permite afirmar que son razonables los intervalos de recurrencia seleccionados. No obstante estos intervalos deberán revisarse cuidadosamente a la luz de estudios adicionales, como los que actualmente está llevando a cabo el INPRES.

En la Tabla 4-1 se sintetizan los criterios morfológicos utilizados para evaluar la edad de los desplazamientos más recientes a lo largo de las fallas estudiadas. Como se muestra en dicha tabla, las fallas activas incluyen aquellas con:

- 1: Ruptura histórica, basado en una correlación directa con un terremoto histórico, combinado con una cara o frente libre (en la escarpa) o una ladera detrítica de superficie áspera.
- 2: Ruptura holocénica, basado generalmente en escarpas / que cortan todos los depósitos aluviales, excepto el aluvión moderno, con corte de la escarpa causado solamente por drenajes importantes.

Además de estos criterios morfológicos, se obtuvieron dos dataciones de sedimentos fallados a lo largo de la Falla de la Precordillera, por el procedimiento de carbono radioactivo.

Las dataciones obtenidas, aunque limitadas en número, confirman las edades aproximadas asignadas a los criterios morfológicos citados en la Tabla 4-1.

Las fallas que presentan segmentos activos están listadas en la tabla 4-2. Se considera que cada una de esas fallas constituye, en toda su longitud, una fuente sísmica potencial, aunque solamente segmentos específicos de ellas hayan experimentado desplazamientos evidentes en los pasados 10.000 años, lo que es sin dudas un criterio apropiadamente conservativo.

4.2. Método de estudio.

La metodología usada para el estudio de las activas incluye cinco pasos: revisión de la literatura disponible, interpretación de información obtenida por sensores remotos, reconocimientos aéreos, comprobaciones de campo y excavación de trincheras.

La interpretación de la información obtenida por sensores remotos comprendió el análisis de mosaicos formados /

por imágenes satelitarias LANDSAT de falso color (bandas MSS 4, 5 y 7) en escalas de 1:1.000.000 y 1:250.000 y el estereográfico análisis de pares de fotografías aéreas convencionales seleccionadas, en blanco y negro, en escalas de aproximadamente 1:18.000 y 1:30.000. Para este estudio se adquirieron / aproximadamente 800 fotografías en escala 1:25.000 y 15 fotografías proporcionadas por el INPRES, la Universidad Nacional de San Juan, el Centro Regional de Agua Subterránea y la Dirección de Minas de la Provincia.

Además de los vuelos de reconocimientos efectuados específicamente para este estudio, se aprovecharon los antecedentes de anteriores reconocimientos aéreos. En mayo de 1981 se llevó a cabo un reconocimiento del área entre los 30°S y 31,6°S y 67°O a 69°O utilizando un helicóptero y diversos aviones provistos por el INPRES.

Se efectuaron limitados estudios en el terreno, en localidades seleccionadas a lo largo de todas las fuentes sísmicas potenciales excepto en la Falla de la Sierra del Valle Fértil. Los estudios en el terreno estuvieron orientados a lograr estimaciones de los parámetros de las fallas, en base a la morfología de la escarpa y al mismo tiempo a elegir los lugares más apropiados para la excavación de las / trincheras.

Los valores de altura de la escarpa de falla, los perfiles y los ángulos de máxima pendiente se usaron para estimar: el desplazamiento máximo y la longitud de ruptura en superficie para terremotos prehistóricos y sus edades; el número de desplazamientos que dieron lugar a la escarpa actual y los intervalos de recurrencia, utilizando métodos descritos, entre otros, por Wallace (1977, 1978a, 1978b) y Bucknam and Anderson (1979). La hipótesis considerada en este estudio es que las condiciones que afectan la degradación de las escarpas de fallas en el área de la Precordillera en la Provincia de San Juan, Argentina, son generalmente similares

a aquellas que afectan la degradación de las escarpas de fallas en la Gran Cuenca del oeste norteamericano, donde se llevaron a cabo los estudios mencionados. Sin embargo se debe puntualizar que es posible que hayan existido diferencias importantes en las condiciones climáticas, de deposición y sismotectónicas entre ambas regiones.

A pesar de estas limitaciones se emplearon las relaciones observadas en el oeste de Estados Unidos, ya que los datos obtenidos para esta región constituyen el más importante conjunto de información disponible referente a las características morfológicas de escarpas de fallas en ambiente áridos y semiáridos. Por otra parte estaba fuera del alcance de este estudio el desarrollo de nuevos criterios de este tipo, aplicables a la Provincia de San Juan. Sin embargo se revisaron las dataciones obtenidas en el presente trabajo, así como los ángulos de máxima pendiente de las escarpas más importantes, en los casos donde se obtuvieron dichas dataciones. Así se determinaron ángulos de 24° en lugares donde el desplazamiento en la falla se produjo antes de 4660 C¹⁴ años A.P. y 2505 C¹⁴ años A.P. (Sección 4.6, Trincheras de la Rinconada y Marquezado, respectivamente). Estos ángulos de pendiente y las edades del desplazamiento de fallas son compatibles, generalmente, con las observaciones / de Wallace (1977) referentes a qué ángulos de pendiente de 20° a 25° corresponden a escarpas con una antigüedad de aproximadamente 12.000 años (\pm mil años).

Esta similitud proporciona una calibración, referida al orden de magnitud, de los ángulos máximos de la pendiente de las escarpas sobre laderas facetadas observadas en la Provincia de San Juan. A partir de esta semejanza, se estimó el máximo desplazamiento ocurrido durante terremotos, el intervalo de recurrencia entre ellos y la magnitud máxima de los mismos.

El programa de excavación de trincheras, consistió en siete excavaciones, seis trincheras y una excavación o cor-

te en ladera. Dos de las trincheras se excavaron transversalmente a la falla de la Caída del Tigre, y cuatro transversalmente a las escarpas de la falla de la Precordillera, incluyendo una trinchera en el segmento de falla de la Rinconada; dos trincheras en el segmento de falla de Marquezado y una trinchera en el segmento de falla de La Laja que experimentó desplazamiento durante el terremoto de 1944, Ms 7,4.

Estas excavaciones se practicaron utilizando una cargadora frontal con pala de $1,5 \text{ m}^3$ de capacidad y dos metros de ancho y fueron preparadas de acuerdo a los métodos de Taylor y Cluff(1973). Se establecieron líneas de nivel en las trincheras con un nivel del tipo de burbujas; se marcaron horizontes estratigráficos a intervalos de uno a dos metros con banderas de color sujetadas con clavos o con pintura en aerosol cerca de clavos marcadores. Se recolectaron y almacenaron materiales orgánicos encontrados en varias de las paredes de las trincheras, utilizando bolsas de poliuretano, para la determinación de su edad, lo que fue realizado por Krueger Inc..

4.3. Falla de la Caída del Tigre.

La Falla de la Caída del Tigre se orienta aproximadamente de norte a sur a lo largo de los flancos occidentales de la Precordillera en la Provincia de San Juan(Figura 4-1). Como se verá más adelante, la falla buza hacia el oeste debajo del Valle de Calingasta. Es una falla de basamento bien definida en la zona sur de la Provincia de San Juan y que continúa en dirección sur hacia la Provincia de Mendoza. Hacia el norte del río San Juan, la falla presenta una prominente escarpa reciente en sedimentos aluviales. Este segmento de falla moderna puede estar relacionado o ser parte de la misma falla que tiene escarpas un poco más viejas en el área de Iglesia. Al norte de Iglesia, la falla está definida por rastros de fallas de basamento y depresiones morfológicas. La falla parece continuar hacia el norte en la Pro-

vincia de La Rioja y finalmente en Chile. Esta observación se basa solamente en las relaciones morfológicas observadas en imágenes LANDSAT.

En una extensión de aproximadamente 15 km (Figura 4-2) al norte del río San Juan la falla está expuesta en basamento, no habiéndose intentado estimar la edad del fallamiento más reciente en esta área. Al norte de este corte de basamento, en una extensión de aproximadamente 55 km, la morfología de la falla muestra una notable evidencia de desplazamientos recientes en los sedimentos más jóvenes del Cuaternario. Entre las características morfológicas observadas se pueden mencionar: desvíos de pequeños arroyos, aluviones estancados, manantiales, alineaciones de vegetación, colinas cortadas, canaletas o artesas lineales, escarpas con bases extremadamente empinadas, segmentos de falla entrelazados, segmentos de falla con escarpas empinadas y cadenas desalineadas.

La porción de la falla de 15 km, segmento 1, inmediatamente al norte del corte de basamento, incluye desplazamiento cuaternario de la superficie del pedimento que tiene inclinación oeste. El pedimento parece tener aluvión Cuaternario superficial sobre estratos blancos de edad Terciaria cuestionable, que aparecen como de composición tobácea. El pedimento está cortado por corrientes paralelas que fluyen hacia el oeste. Estos drenajes y los cordones intercurrentes (o interpuestos) exhiben un desplazamiento lateral derecho de aproximadamente 200 metros. No se observó evidencia de una verdadera componente vertical de desplazamiento.

El segmento 2 es una porción de la falla de 40 km de longitud, que se ubica al norte del segmento 1 (Figura 4-2). Se localiza al sur de la ruta de San Juan a Iglesia y al este de la ruta que une Villa Nueva con Iglesia. La escarpa / asociada al segmento 2 mira hacia atrás con relación a la / topografía general, con desplazamiento descendente hacia el

este. Este segmento de la falla tiene una apariencia mucho más reciente que la del segmento 1. La escarpa presenta, sin lugar a dudas, desplazamiento holoceno observable en la deflexión de prácticamente todas las líneas de drenaje, con el resultante estancamiento del aluvión.

Las corrientes a lo largo del segmento 2 presentan un esquema dendrítico en contraste con los drenajes paralelos en el segmento 1 y no están tan profundamente cortados como los del segmento 1; en algunos puntos grandes drenajes han producido una escisión en la escarpa que mira hacia // atrás. Aunque el rechazo vertical en el extremo sur de este segmento es prácticamente nulo, va aumentando hasta aproximadamente 200 metros antes del extremo norte del segmento, cerca de la ubicación 1 que se discute más abajo.

En el curso de esta investigación la falla fue examinada en el terreno en una extensión de 15 km al norte de la ruta a Villa Nueva. Cerca de la posición 1 (Figura 4-2), la escarpa que mira hacia el este tiene 200 metros de resalto y presenta aluvión estancado en su base. El suelo está cubierto por un pavimento desértico bien desarrollado que se extiende sobre el bloque levantado. Las únicas corrientes / que han producido inscripciones en la escarpa son los drenajes mayores. La inclinación máxima medida en la muy empinada base de la escarpa es 25° hacia el este. No se observó desplazamiento en superficie en el aluvión estancado; no obstante, cualquier evidencia de desplazamiento superficial pudo haber sido destruída por el hombre o por ganado pastando.

En la posición 2 (Figura 4-2), aproximadamente 2 km al sur de la posición 1, un drenaje mayor que cortó la escarpa, fue desplazado lateralmente varios cientos de metros hacia la derecha. La escarpa, producto de numerosos eventos de fallamiento superficial, tiene aproximadamente 200 metros de altura y en algunos lugares ha estancado el drenaje. Se observan terrazas en el drenaje, las que han sido falladas.

El ángulo de máxima pendiente medido en las escarpas de estas terrazas es de 24° a 25° hacia el este.

Tanto el norte como al sur de estos drenes se observan terrazas muy nuevas con escarpas de fallas. En una de ellas, al norte del dren citado anteriormente, se midió una escarpa de falla de 1,50 metros de altura, sin poderse identificar componente horizontal del desplazamiento. Se observaron también dos escarpas de falla ramificadas, al sur del dren mayor, con un desplazamiento vertical combinado de / 1,50 metros.

La presencia de estas escarpas en las terrazas muy jóvenes, hacen pensar que los movimientos en la falla, responsables por la escarpa de 200 metros de altura, han continuado hasta hace poco tiempo. Los movimientos más recientes han ocurrido, al menos en parte, sobre las trazas de falla donde se observan las escarpas relativamente nuevas.

Aproximadamente 5 km al sur de la posición 2, se encuentra un lago seco en la posición 3 (Figura 4-2), a lo largo de una sección de la escarpa sin corte. Hay dos escarpas en el lecho del lago; una está alineada con la escarpa principal que mira hacia atrás y la otra se encuentra a aproximadamente 70 metros hacia el este de la primera escarpa. En este depósito del lecho del lago se realizó la trinchera 1 descrita a continuación.

La posición 4 presenta dos escarpas. La escarpa occidental de 2,3 metros de altura tiene un ángulo de inclinación máxima de 14° hacia el este. La escarpa oriental fue alterada por erosión lateral, lo que dificulta la evaluación de sus características.

La posición 5 se ubica a 1 km aproximadamente, al sur de la posición 4. En este lugar la escarpa tiene una altura de 1,90 metros y el ángulo de máxima pendiente tiene 14° hacia el este.

Se excavaron dos trincheras a través del segmento 2 de

la falla para evaluar la edad del desplazamiento, el sentido del mismo, el intervalo de recurrencia entre los eventos y las magnitudes de terremotos anteriores. La trinchera 1 se excavó transversalmente a la falla en la posición 3, mientras que la trinchera 2 se excavó a través de la falla cerca de la posición 2(Figura 4-2).

En la posición 3 se excavó la trinchera 1 a través del lago seco en una longitud de aproximadamente 86 metros. Se observaron dos zonas de falla en la trinchera. La zona de falla occidental, alineada con la escarpa principal sobre cada lado del lago seco, consiste en dos ramificaciones con rumbo N 25°E y tienen buzamiento noroeste. El sentido de desplazamiento es de falla inversa, habiendo subido el lado / noroeste de la falla con relación al lado sudeste.

En la zona oriental de fallamiento en esta trinchera, se observan tres trazas de falla con rumbo N 15° a 30°E y que tienen una muy marcada inclinación hacia el sudeste. El tipo de desplazamiento es de falla normal, con el lado sudeste hundido con relación al lado noroeste(Figura 4-2). El paleosol, dentro de los sedimentos del lecho del lago(Unidad Q4) se halla desplazado aproximadamente 2 metros. Se buscó y se encontró evidencias de componente horizontal del / desplazamiento.

La traza noroeste y la central tienen aproximadamente 10 a 15 cm de desplazamiento cada una, para un total de alrededor de 25 a 30 cm. El restante 1,75 metros de desplazamiento parece haber sido producido por uno o más movimientos en la traza sudeste.

Si el lecho del lago seco es de edad holoceno, como puede inferirse teniendo en cuenta la ausencia de cortes a través de la escarpa, el aluvión estancado detrás de la escarpa y la juventud general de los sedimentos superficiales

depositados en la provincia, lo cual surge de las dataciones por el método del carbono radioactivo obtenidas en el Valle de Tulum y si, además, por lo menos 1,75 metros de desplazamiento ocurrió durante un solo evento en la traza ubicada más al sudeste de la zona este de falla, en la trinchera 1, se puede inferir que por lo menos un evento de magnitud (Ms) aproximadamente igual a 7 ha ocurrido a lo largo de este segmento de falla en los pasados 10.000 años (usando la relación de Slemmons, 1977 de magnitud vs. desplazamiento).

En la porción 2 se excavó la trinchera 2. Su longitud fue de 4 metros en dirección transversal a la sobreempinada base de la escarpa, a lo largo de la cual el aluvión había sido yuxtapuesto contra depósitos de toba de edad Terciaria inferida. En esta trinchera, se comprobó la existencia de dos fallas con orientación N 30°E, que se inclinan abruptamente hacia el sudeste. El sentido de desplazamiento es normal, con el lado sudeste hundido con relación al lado noroeste. El desplazamiento máximo observado en la trinchera fue de aproximadamente 0,6 m, medido en el extremo superior de los depósitos del canal o lago(Q2) y en el extremo superior de una unidad de toba terciaria(T1), a lo largo de la traza noroeste de la falla. En la traza sudeste se comprobó un desplazamiento de 0,25 metros en el extremo superior de un depósito de canal o lago(Q2) y otro de 0,35 metros en la base de la unidad(el extremo superior del paleosol) que se desarrolló con anterioridad a la acumulación del depósito / del canal o lago. Ni la traza oeste de la falla ni la sudeste cortan el aluvión reciente(Q1).

Si el depósito del canal o lago es Holocénico, o sea que tiene menos de 10.000 años, y si los 0,6 metros de desplazamiento son el resultado de un solo evento, entonces por lo menos ha ocurrido un terremoto de magnitud(Ms), aproximadamente igual a 6-1/2 durante los últimos 10.000 años en /

esta localidad.

Los resultados de esta investigación muestran que la falla del Tigre constituye un muy importante sistema de fallamiento, que atraviesa longitudinalmente la provincia de San Juan y que podría tener una extensión de unos 1.000 km. Se observa clara evidencia, a lo largo de una Sección de 40 metros de falla, de un desplazamiento lateral derecho y otro inverso, ambos de aproximadamente 200 metros por lo que el desplazamiento neto total es del orden de 200 a 300 metros. Se supone que este desplazamiento ha ocurrido durante los pasados 10.000 años(era holocénica).

La longitud máxima potencial de la falla del Tigre es comparable a otras grandes fallas, tanto interplaca como intraplaca, que no forman parte de la zona de subducción. Como ejemplo de ellas podemos nombrar la falla de Bocono en Venezuela, la falla Denali en Alaska(Richter y Matson,1971;Plafker y otros,1977; Hickman y otros, 1977,1978), la falla del norte de Anatolia en Turquía(Canitez,1976) y la falla de San Andrés en California(Crowell,1975; Sieh,1978 a: 1978b). Esta gran longitud hace pensar que esta falla es la manifestación superficial de una incisión muy grande en la corteza terrestre y que, en consecuencia, tiene una capacidad de generar terremotos de magnitud tan elevada como los que han ocurrido en esas otras grandes fallas.

También se revisaron los registros de sismicidad histórica y se identificaron nueve terremotos de magnitud,(Ms) igual o mayor que 5, los que, aparentemente, se correlacionan con el espacio con la falla del Tigre. El mayor de estos eventos es el de 1927, con magnitud (Ms) igual a 7,4.

En base a todas estas consideraciones, se ha estimado un terremoto potencial máximo con magnitud (Ms) igual a 8,0 para la falla del Tigre. Esta magnitud es, en general, consistente con las magnitudes máximas de las grandes zonas de fallas no pertenecientes a las áreas de subducción, ante-

riormente mencionadas. (San Andrés, Denali, Bocono y Anatolia).

Se usaron dos procedimientos distintos para estimar el intervalo de recurrencia del terremoto potencial máximo: uno geológico y otro sismológico. En el primero se interpretaron los desplazamientos observados, en base a dos métodos, mientras que en el procedimiento sismológico se recurrió a la sismicidad histórica. La descripción detallada de ambos procedimientos puede consultarse en el Informe Técnico General Volúmen I.

4.4. Región de la Precordillera.

La región de la Precordillera incluye la provincia / morfoestructural de la Precordillera como la definió Harrington (1956). La región se orienta de norte a sur, en una distancia de 300 km a través de la parte central de la Provincia de San Juan y continúa hacia el sur en la Provincia de Mendoza. Está limitada al oeste por el Valle de Calingasta y por la falla del Tigre y al este por la falla del Frente Norte al norte del río San Juan (Figura 4-1).

Dentro del terreno de basamento predominantemente paleozoico, se observa un gran número de fallas cuyas edades de desplazamiento oscilan entre precuaternario y preholoceno. Las fallas son predominantemente inversas, con buzamiento hacia el oeste, a lo largo de las cuales los estratos mesozoicos y paleozoicos fueron empujados hacia el este en una serie de capas de buzamiento oeste. También existen fallas con buzamiento hacia el este. Sin embargo se piensa que la orientación regional dominante es oeste para el buzamiento de los sistemas de fallas más importantes.

Se ha formulado un modelo de esta región que incluye

ocho sistemas de fallamiento con rumbo norte-sur, que abarcan la longitud de la Provincia. Estos sistemas de fallas comprenden grandes fallas mapeadas en forma discontinua. El número de sistemas se seleccionó algo arbitrariamente, en base a la morfología regional y a las relaciones tectónicas, resultando que ocho sistemas de fallas pueden ser los responsables de la deformación observada en la región de la Precordillera.

No se observaron durante este estudio, fallas con desplazamientos holocénico.

Para estimar la magnitud del terremoto potencial máximo se utilizó la relación entre longitud de ruptura y magnitud de Slemmons(1977). De acuerdo con esta relación se asume que una falla podría fracturarse, durante un solo terremoto, hasta un tercio de su longitud máxima. Se considera que la longitud máxima de la falla puede ser tan larga como la longitud de la región dentro de la Provincia de San / Juan(300 km como aparece en la Figura 4-1). Un tercio de esta longitud son 100 km los que, usando la relación de Slemmons(1977) darían como resultado un terremoto de magnitud / (Ms) 7-3/4.

Se considera que tal terremoto puede ocurrir en cualquiera de las fallas existentes dentro de la región. El intervalo de recurrencia para dicho terremoto potencial máximo fue seleccionado en base a la corta edad de las observadas escarpas de falla. Se consideró que todas pertenecen al preholoceno, es decir, edades mayores de 10.000 años.

Se seleccionó 10.000 años como un intervalo de recurrencia conservativo y a la vez razonable para el terremoto potencial máximo de la región de la Precordillera. Esto significa que cada una de las ocho grandes fallas mencionadas anteriormente tendrán un intervalo de recurrencia de, aproximadamente, 80.000 años.

4.5. Falla del Frente Norte.

La Falla del Frente Norte se extiende con rumbo aproximado norte-sur, a lo largo del falnco este de la Precordillera, por una distancia de por lo menos 200 km, desde el norte del río San Juan hacia la Provincia de La Rioja (Figura 4-1). Se considera a esta falla como parte del frente este de la Precordillera y el trabajo realizado hasta la fecha sugiere que su localización corresponde, generalmente, al frente montañoso. Se necesitarán estudios complementarios para mejorar el conocimiento en lo referente a la ubicación de esta falla. Se estima que el buzamiento es de // aproximadamente 45° , hacia el oeste.

La posible continuación de esta falla hacia el sur / tendrá poca influencia sobre la exposición sísmica del Valle de Tulum, ya que su buzamiento es hacia el oeste, o sea alejándose del Valle. En cambio la falla de la Precordillera seguirá teniendo un efecto dominante en este Valle, tanto por su actividad sísmica como por su buzamiento hacia el este. Sin embargo la posible continuidad de la falla del / Frente Norte hacia el sur afectará la exposición sísmica en el Valle ubicado al oeste de la Sierra Chica de Zonda.

En el curso de esta investigación se realizó un reconocimiento aéreo a lo largo de la falla durante casi un día. En este reconocimiento se observó en el área de Jáchal es-
carpas de fallas jóvenes, probablemente del Holoceno. El res-
to de la falla tenía escarpas que se estiman pertenecen a la era preholocénica, ya sea al Cuaternario Superior o al Cuaternario pre-superior.

Usando la longitud de falla (200 km) que se muestra en la Figura 4-1, se asume que de 70 a 100 km podrían fracturarse durante un solo evento, y en base a la relación de / Slemmons (1977), se estima que la magnitud del terremoto potencial máximo en esta región es $7-1/2$ a $7-3/4$.

A los efectos de esta investigación se ha adoptado /

(Ms) = 7-3/4(Tabla 4-2). Esta magnitud es mayor que la del terremoto histórico más importante que puede ser relacionado con esta falla, que es el terremoto de 1894, de magnitud (Ms) 7,5. Es también consistente con el terremoto potencial máximo seleccionado para la falla de la Precordillera(Tabla 4-2).

La selección del intervalo de recurrencia para el terremoto potencial máximo en esta falla fue altamente subjetiva. Se basó principalmente en la morfología de la escarpa de falla observada cerca de Jáchal y en una calibración / aproximada con escarpas estudiadas más detalladamente en el extremo norte de la Sierra Pie de Palo. De esta forma se estimó como razonable un intervalo de recurrencia de 4.000 años.

4.6. Falla de la Precordillera.

La Falla de la Precordillera se extiende, aproximadamente, en dirección norte-sur a lo largo del límite oeste del Valle de Tulum, continuando hacia el sur(Figura 4-1), en la Provincia de Mendoza. Se supone que una rama de esta falla, con rumbo noreste-sudeste es la que aparece en las cercanías de La Laja.

La falla de la Precordillera es realmente una zona de falla en la que un número de segmentos de falla activos buzan en dirección este y sudeste debajo de la ciudad de San Juan. Varios terremotos históricos de magnitud moderada a / intensa, incluyendo el de 1944 de magnitud(Ms) 7,4 han sido asociados a esta zona de falla(Tabla 5-1).

Durante el terremoto de 1944 se comprobó un desplazamiento de 0,30 metros en superficie(Groeber,1944) en una / distancia de aproximadamente 5 km. Este es el único caso / histórico de desplazamiento en superficie que ha sido reportado en la provincia hasta el presente.

Durante esta investigación se encontró evidencia de desplazamiento holocénico en la falla, en 3 segmentos: La Rinconada, Marquezado y La Laja. Cada uno de estos segmentos se considera como parte de la zona de falla que lo atraviesa. La división en segmentos se realizó para facilitar la discusión que sigue.

4.6.1. Segmento de falla de La Rinconada.

Este segmento de la zona de falla tiene aproximadamente 13 km de longitud y 5 km de ancho en el área estudiada. En la zona oeste de Carpintería, el segmento de falla está compuesto por cuatro fallas inversas imbricadas subparalelas. La más occidental de estas fallas tiene la escarpa de apariencia más moderna. Esta escarpa tiene aproximadamente 2 metros de altura. En cierto lugar un canal parece haber sido desviado aproximadamente 80 cm durante el último episodio de desplazamiento de la falla y está ahora encaramado al bloque superior. La inclinación máxima de esta escarpa es de aproximadamente 24° . Hacia el este, las escarpas tienen inclinaciones máximas de 16° , 11° y 10° de oeste a este, respectivamente.

Se excavó una trinchera a través de la escarpa, en el canal abandonado arriba descrito, la que se designó "Trinchera de La Rinconada". Tenía aproximadamente 16 metros de largo y mostraba fallas inversas paralelas orientadas $N 14^{\circ} E$, $70^{\circ} SE$. A lo largo de las fallas, arcilla y arenisca terciaria han sido empujadas hacia el noroeste con un desplazamiento de 1,50 metros como mínimo.

Depósitos que rellenan el canal, aparentemente sin fallas, cubren la falla en la zona expuesta de la trinchera. Se observan, debajo de la falla, en el bloque inferior, detritos compuestos de las unidades terciarias y del aluvión superpuesto en el bloque superior. Este depósito es el resul

tado del desgaste masivo y deposición en la base de la escarpa de falla, luego de un desplazamiento de la falla, pero anterior a la acumulación de los depósitos de canal situado por encima.

Finas arenas eólicas cubren el depósito de detritos. Estas arenas contienen una zona de carbón vegetal del que / se tomaron muestras para una determinación de edad por el método del carbono radiactivo. La edad obtenida para esa / muestra, $4.600 \pm 330 \text{ C}^{14}$ años antes del presente, proporciona una fecha que constituye un límite superior para un evento en la falla. Esto es, ocurrió un desplazamiento en la traza de la falla expuesta en la trinchera con anterioridad a los 4.700 años antes del presente.

Hay evidencia de por lo menos un desplazamiento más reciente con posterioridad a los 4.700 años antes del presente. Esta evidencia es el canal abandonado encaramado a la pared colgante. El fondo de este canal está aproximadamente a 80 cm sobre la base de la escarpa. En el bloque inferior, el fondo del canal parece ser una línea de clastos observada en el extremo oeste de la trinchera La Rinconada. La diferencia de elevación entre la base del canal en estas dos posiciones es de 1,75 metros, lo cual representa el desplazamiento vertical mínimo asociado con uno o más episodios de fallamiento.

4.6.2. Segmento de Falla Marquezado.

El segmento Marquezado de la falla de la Precordillera se extiende a través de las tierras bajas orientales de la Precordillera, cerca del cañón de Las Lajas, hacia Marquezado, en el lado sur del río San Juan. El ancho de este segmento es de 4 a 10 km.

Inmediatamente al sur del cañón Las Lajas hay un cono aluvial cortado por una escarpa de 1,1 metro de altura, que

tiene una pendiente máxima de 9° . La verdadera pendiente de la escarpa puede ser aún más empinada pero está enmascarada por arena eólica.

Hacia el norte del cañón de Las Lajas, en la zona de Rivadavia (también mencionada en este trabajo como zona Loma Negra), al sur del Estero de Zonda, hay una escarpa de 3 metros de altura con una inclinación máxima de 24° . Se excavó una trinchera a través de esta sección de la falla, a la que denominamos trinchera Zonda-Loma Negra. Esta trinchera dejó expuestas unidades terciarias de arcilla, entre arenosa y limosa, presionadas hacia el oeste sobre el aluvión / cuaternario. La falla se orienta $N 10^\circ 0'$ y buza $35^\circ NE$ en la base de la trinchera; la pendiente disminuye a $24^\circ NE$ dentro del aluvión cuaternario. La falla se extiende dentro de la unidad aluvial sobre los estratos terciarios, pero no se extiende hasta la superficie del terreno.

Se encuentra un paleosol enterrado en la pared inferior sobre el lado sudeste de la falla, el que está ausente en el bloque superior. La ausencia del paleosol en el bloque superior sugiere que éste fue eliminado por la erosión y/o que ocurrió un desplazamiento de por lo menos 4 metros en la falla.

Al norte del Estero de Zonda, en el área de Marquezado, la zona de falla se presenta en forma de varias escarpas que miran hacia el oeste y que se orientan $N40^\circ E$.

En la parte central de la zona de Marquezado la escarpa de la falla tiene una inclinación máxima de 24° y 2,7 metros de altura. Al este de esta escarpa que mira hacia el oeste, hay cuatro terrazas fluviales a lo largo del canal / que fue erosionado en la pared colgante, con anterioridad al último desplazamiento de la falla. El lecho del canal está a 90 cm. sobre la superficie del bloque inferior. Las terrazas están, respectivamente, a 0,6 m, 1,8 m, 3,6 m, y 4,5 metros sobre el lecho del canal. Estas terrazas y el recha-

zo vertical en el canal pueden representar el desplazamiento durante episodios individuales de fallamiento. No es posible, no obstante, desechar la probabilidad de que eventos múltiples, con intervalos de recurrencia cortos, puedan haber producido cada una de estas características.

Se excavó una trinchera a lo largo de la escarpa de falla central, que parecía ser más activa, en la zona de / Marquezado. A esta trinchera se la llamó "Trinchera de Marquezado". En el sitio de la trinchera la escarpa tiene un / suelo desértico de pedregullo, guijarros y canto rodado de calizas que arman su superficie. Debajo de esta coraza la trinchera dejó al descubierto una falla de orientación N37° E y de inclinación 29°SE. La falla presenta dos trazas sub paralelas. La traza más baja tiene una inclinación algo menos pronunciada que la traza principal, que es la más alta. Las relaciones observadas en las trincheras no pudieron ser usadas para determinar si las dos trazas representan uno o más períodos de desplazamiento. El extremo superior de un / depósito de cono aluvial fue desplazado 1,75 metros por la falla. Hay un paleozol en la parte superior del depósito del cono aluvial, en el bloque inferior, el cual termina en la falla. No se encuentra paleosol en el techo del depósito del cono aluvial en el bloque superior, lo cual sugiere que / aquel fue eliminado durante la deposición del depósito de / derrumbe y talud o que ocurrió un desplazamiento de por lo menos 1,5 metros en la falla. Lentes de carbón vegetal presentes en este depósito arrojan una edad, determinada por el método del radiocarbono de $2.505 \pm 160 \text{ C}^{14}$ años antes / del presente. Este resultado nos permite asegurar que el / desplazamiento más reciente debe ser más antiguo que esos 2.500 años.

4.6.3. Segmento de falla de La Laja.

El segmento de falla de La Laja se extiende aproximadamente por 11 km hacia el norte-noreste de Albardón, a través de antiguas y aún activas fuentes termales alrededor de las Termas de La Laja. Este segmento constituye una zona de 4 km de ancho de escarpas que miran al oeste-noroeste, sobre fallas inversas de buzamiento este-sudeste.

Durante el terremoto de 1944, de magnitud (Ms) 7,4, se observó un desplazamiento de 0,30 metros en la dirección del buzamiento, en el segmento de falla de La Laja (Groeber, 1944). La ruptura de la superficie se produjo sobre una distancia de 6 km, lo que fue observado durante esta investigación.

Este segmento de falla históricamente activo exhibe evidencia geomórfica amplia de actividad reciente. Estos rasgos incluyen escarpas muy empinadas, alineación de vegetación y manantiales y fisuras abiertas. Las escarpas a lo largo de la porción norte del segmento de falla parecen ser / más jóvenes que las del sur.

El esquema complejo de escarpas de falla y trazas de / falla en esta zona incluyen muchas ramas subparalelas y ramificaciones. La extensa cementación del aluvión cuaternario en la zona puede ser responsable de este complejo de ramificación, ya que este material quebradizo puede romperse bajo las presiones asociadas con la actividad de la falla.

Se realizaron estudios de campaña, principalmente en la sección del segmento de falla a lo largo de la cual hubo rotura superficial durante el terremoto de 1944. Esta zona incluye rasgos geomórficos típicos de zonas de fallas muy / activas. Se observaron fracturas y fisuras abiertas, con / evidencia de haber conducido agua de escurrimiento. En unos pocos lugares aún se conservan fracturas diseminadas en la delgada porción no consolidada de la cubierta aluvial. Las pendientes de las escarpas son empinadas, en algunos casos verticales, como resultado de la combinación de la cementa-

ción producida en el aluvi6n y en porciones de sedimentos terciarios subyacentes por el travertino de las aguas termales y la presencia de cantidades substanciales de arcilla en la matriz del aluvi6n. A causa de estos, cualquier intento de datar la actividad de desplazamiento de fallas usando las relaciones morfol6gicas desarrolladas por Wallace(1977) no son apropiadas.

Se hicieron dos excavaciones, una trinchera y un corte de ladera de cerro, en la porci6n sur de la zona de falla de La Laja. Esta 6ltima se efectu6 a trav6s de la escarpa que sufriera rotura superficial en 1944. En la figura 5-3 se muestra el perfil del corte de ladera (Trinchera 2 de La Laja). Este corte present6 una excelente muestra de desplazamiento moderno a lo largo de una falla inversa. Arenisca terciaria moderadamente inclinada, arcilla y limo en discordancia angular con el aluvi6n cuaternario, han sido empujados hacia el norte sobre sedimentos cuaternarios, a lo largo de la falla inversa que est6 orientada N42°E y que buza 23° a 34°SE.

La separaci6n total vertical sobre la falla es de // aproximadamente 9 metros, teniendo en cuenta el desplazamiento de la superficie superior de los sedimentos terciarios. Esto equivale a aproximadamente 17,5 metros de desplazamiento de inclinaci6n a partir del comienzo de la deposici6n de la cubierta aluvial sobre la discordancia angular. Las estriaciones en el yeso depositado en la zona de falla muestran que el movimiento ha sido solamente en la / direcci6n del buzamiento. El terremoto de 1944 produjo aproximadamente 30 cm de desplazamiento. El n6mero de eventos con desplazamiento asociados a los 17 metros restante no pudo ser determinado a partir de las relaciones observadas en esta excavaci6n.

4.6.4. Discusión.

Sobre la base de los estudios descriptos anteriormente consideramos la falla de la Precordillera como una falla inversa activa, con rumbo norte-sur a noreste-sudoeste y con buzamiento este debajo del Valle de Tulum y la ciudad de San Juan. La inclinación observada en la superficie es de aproximadamente 35°E , la que puede llegar a ser más pequeña con la profundidad.

Hemos estimado el terremoto potencial máximo considerando el terremoto máximo indicado en el registro geológico y la sismicidad histórica asociada con la falla. El máximo desplazamiento observado, durante un solo terremoto, a lo largo de la falla fue de 1,75 metros en las trincheras de La Rinconada y Marquezado. Asumiendo que este desplazamiento ocurrió durante un solo evento, y usando la relación de Slemmons(1977) para fallas inversas, la magnitud estimada para un evento es $(M_s) = 7,2$. El registro de la sismicidad histórica sugiere que hasta tres terremotos de moderados a intensos pueden asociarse con la falla de la Precordillera (Tabla 5-1). Estos terremotos incluyen los eventos de 1920 de $(M_s) = 6,3$; 1944 de $(M_s) = 7,4$ y 1952 de $(M_s) = 6,7$.

En consecuencia, considerando tanto los registros / geológicos como los de sismicidad histórica, el máximo terremoto ocurrido en el pasado para el que hemos encontrado evidencias ha sido de magnitud (M_s) 7,2 a 7,4. Por lo tanto estimamos que el terremoto potencial máximo puede ser uno de magnitud (M_s) 7-1/2.

Se ha estimado el intervalo de recurrencia para el terremoto potencial máximo utilizando las relaciones a lo largo del segmento Marquezado de la falla de la Precordillera. Se seleccionó este segmento porque la relación entre la es carpa de falla y la terraza fluvial provee un buen resumen de desplazamiento de falla holocénico. Sobre la base de las cuatro terrazas y el drenaje colgante en la escarpa de fa-

lla se supone que han habido cinco terremotos moderados a intensos en este segmento de la falla en el período holocénico. Asumiendo que este registro representa un período de 10.000 años, el promedio de recurrencia es de un terremoto de moderado a intenso cada 2.000 años aproximadamente.

Con el propósito de estimar la recurrencia de la falla consideramos el número de longitudes de falla que podrían asociarse con estos cinco terremotos. Utilizando la relación de Slemmons, la magnitud (Ms) de estos terremotos fue estimada entre 5,8 a 7,2. Para determinar el número de longitudes de falla a lo largo de la falla de la Precordillera consideramos como representativa la magnitud (Ms) 7,2. Utilizando la relación de Slemmons (1977) entre longitud de rotura de superficie y la magnitud, para fallas inversas, estimamos la longitud de rotura asociada con una magnitud (Ms) de 7,2 en aproximadamente 15 a 20 km. La falla de la Precordillera tiene 130 km de longitud dentro de la Provincia de San Juan (Tabla 4-2) en consecuencia tiene probablemente 200 km de longitud en su totalidad, ya que se extiende hacia el sur, entrando en la Provincia de Mendoza (Figura 4-1). Esto significa que hay aproximadamente de 7 a 13 segmentos de la falla de la Precordillera capaces de sufrir terremotos de magnitud (Ms) 7 (130 a 200 km \div 15 a 20 km). Si cada uno de estos segmentos tiene cinco terremotos de magnitud (Ms) 7,2 en 10.000 años, entonces un total de 45 a 65 terremotos de magnitud (Ms) 7,2 han ocurrido en 10.000 años a lo largo de la falla, resultando un intervalo de recurrencia de 150 a 290 años. Además se asume que el terremoto potencial máximo de Ms = 7-1/2, tendría un intervalo de recurrencia más cercano al extremo superior del intervalo / de 150 a 290 años. En consecuencia, se adoptó 250 años como un intervalo de recurrencia razonable para el terremoto potencial máximo.

El intervalo de recurrencia estimado anteriormente en base a las evidencias geológicas es más corto que el obteni

do de los datos de la sismicidad histórica disponibles. Considerando la aparente periodicidad de la sismicidad histórica en la Provincia, se piensa que este intervalo más corto es el apropiado.

4.7. Falla de la Sierra de Pie de Palo.

La Sierra de Pie de Palo es un bloque o elevación dómica de rocas de basamento cristalinas precámbricas que ahora permanecen sobre los estratos sedimentarios post-precámbricos.

El epicentro del terremoto de 1977, de magnitud (Ms) 7,4 se localizó en el norte de la Sierra de Pie de Palo. Los resultados de los diferentes estudios realizados después de este evento muestran que, aparentemente, no hay evidencia de fallamiento joven en los márgenes oeste y sur de la Sierra. En cambio sí hay evidencia de fallamiento joven a lo largo de los márgenes norte, noreste y sudeste de la Sierra.

La falla de la Sierra de Pie de Palo envuelve el extremo norte de la sierra en una dirección que varía de noreste-suroeste a noroeste-sureste. La falla continúa en dirección sureste, a través del Valle del Bermejo, hacia la falla de la Sierra del Valle Fértil ubicada en la base de dicha sierra (Figura 4-1). Una traza de falla de dirección norte-sur se extiende desde la falla de la Sierra de Pie de Palo, a lo largo del margen este de dicha sierra.

La falla de la Sierra de Pie de Palo tiene aproximadamente 60 km de longitud constituyendo una zona relativamente angosta de escarpas que miran al norte y se manifiestan sobre abanicos aluviales más viejos. Hacia el norte de Agua Brava, donde la falla yace a lo largo del contacto del aluvión con el frente de montaña, se encuentra una escarpa de 4,7 metros de altura con un ángulo de inclinación máxima de 28° a 30° (Figura 4-1). El buzamiento de la pendiente descendente de la superficie de aluvión, al sur de la escarpa, es

de 12°.

La magnitud y el intervalo de recurrencia del terremoto potencial máximo para la falla de la Sierra de Pie de Palo, fueron seleccionados en base a morfología, altura y longitud de la escarpa y al registro de sismicidad histórica. Hemos estimado que la magnitud del terremoto potencial máximo en esta falla es de $(M_s) = 7,7$. Esta estimación se basa en la presunción de que la escarpa de 4,7 metros de altura al norte de Agua Brava, representa el máximo desplazamiento en la falla.

La estimación del intervalo de recurrencia para el terremoto potencial máximo se basó en las siguientes condiciones: (1) las pendientes empinadas en las escarpas, (2) la ausencia de escarpas en los abanicos aluviales más jóvenes, (3) el relativamente empinado buzamiento de las pendientes / descendentes de las superficies aluviales en el labio superior de la falla. De estas consideraciones se deduce que las escarpas son aproximadamente de edad holocénica media. Hemos seleccionado, en consecuencia, un intervalo de recurrencia de 4.000 años para el terremoto potencial máximo.

4.8. Falla de la Sierra de Valle Fértil.

La falla de la Sierra de Valler Fértil es una falla / de orientación norte-noroeste, situada a lo largo del frente de la cadena oeste de la Sierra de Valle Fértil y del límite este del Valle del Bermejo. La falla es claramente visible durante una distancia de 300 km dentro de la Provincia de San Juan (Figura 4-1). Probablemente continúa al norte en la Provincia de La Rioja y a su vez se extiende hacia el sur, tal vez tan al sur como la plataforma submarina al sur de Buenos Aires. Considerando el modelo tectónico para la Provincia (Figura 3-2) inferimos que la falla es inversa y que se inclina hacia el este debajo de la Sierra de Valle

Fértil. La falla está señalada localmente por una zona discontinua de escarpas de falla preholocénica del cuaternario superior. El segmento más prominente y lineal está ubicado entre Marayes y la unión con la falla de la Sierra de Pie de Palo.

Esta falla ha sido incluida como falla activa debido a la apariencia relativamente joven de las escarpas al norte de Marayes y además, para dar lugar a la incertidumbre existente de su posible relación con la falla nítidamente activa de la Sierra de Pie de Palo. Hemos estimado la magnitud del terremoto potencial máximo asumiendo que una mitad de su largo total podría romperse durante un solo evento. Usando la relación de Slemmons(1977) se obtiene una magnitud (Ms) 7,7 a 7,9 la que podría ocurrir como un solo gran evento. Se supone que una magnitud (Ms) de 7-3/4 es apropiada para el terremoto potencial máximo en esta falla.

Las escarpas que fueron revisadas se hallan en depósitos aluviales preholocénicos relativamente jóvenes. En consecuencia se ha seleccionado 20.000 años para el intervalo de recurrencia del terremoto potencial máximo para la falla de la Sierra de Valle Fértil.

TABLA 4-1

CRITERIOS MORFOLOGICOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR LA EDAD
DEL DESPLAZAMIENTO DE FALLAS

<u>Clasificación</u>	<u>Edad aproximada(Años antes del presente)</u>	<u>Criterios</u>
ACTIVAS		
ROTURA DE FALLA HISTORICA	Presente hasta 500	Asociación con un evento histórico, combinado con un cara libre o pendiente detrítica áspera.
ROTURA DE FALLA HOLOCENICA	500 a 10.000	Presencia de una pendiente de detritos o pendiente de lavaje más empinada de 18°; la escarpa de falla corta todo el aluvión a excepción del moderno; la escarpa puede haber formado una zanja pero está cortada sólo por los drenajes mayores; poca o ninguna división de abanicos.
ROTURA DE FALLA PRE-HOLOCENICA	10.000 a 100.000	Pendientes de lavaje de 10° a 18°; la cara de la escarpa puede estar acorazada con clastos; pueden hallarse en la cara de la escarpa suelos arcillosos y/o caliche; escarpas discontinuas por estar divididas por muchos drenajes menores y virtualmente todos los drenajes mayores; conservación de contrafuertes facetados en los frentes montañosos; muy empinada base de la cara de la montaña y abanicos profundamente divididos.
ROTURA DE FALLA DEL CUATERNARIO PRE TARDIO	100.000 a 2.000.000	Pendientes más suaves de 10° sobre escarpas muy sutiles; no continuas, quebradas y encerradas; contrafuertes facetados suavizados pueden carecer de escarpas de aluvión.

TABLA 4-1 (Continuación)

Clasificación	Edad aproximada (Años antes del presente)	Criterios
ROTURA DE FALLA PRE-CUATERNARIA	> 2.000.000	Presencia de inselbergs (montañas islas) retroceso de frentes de montaña.

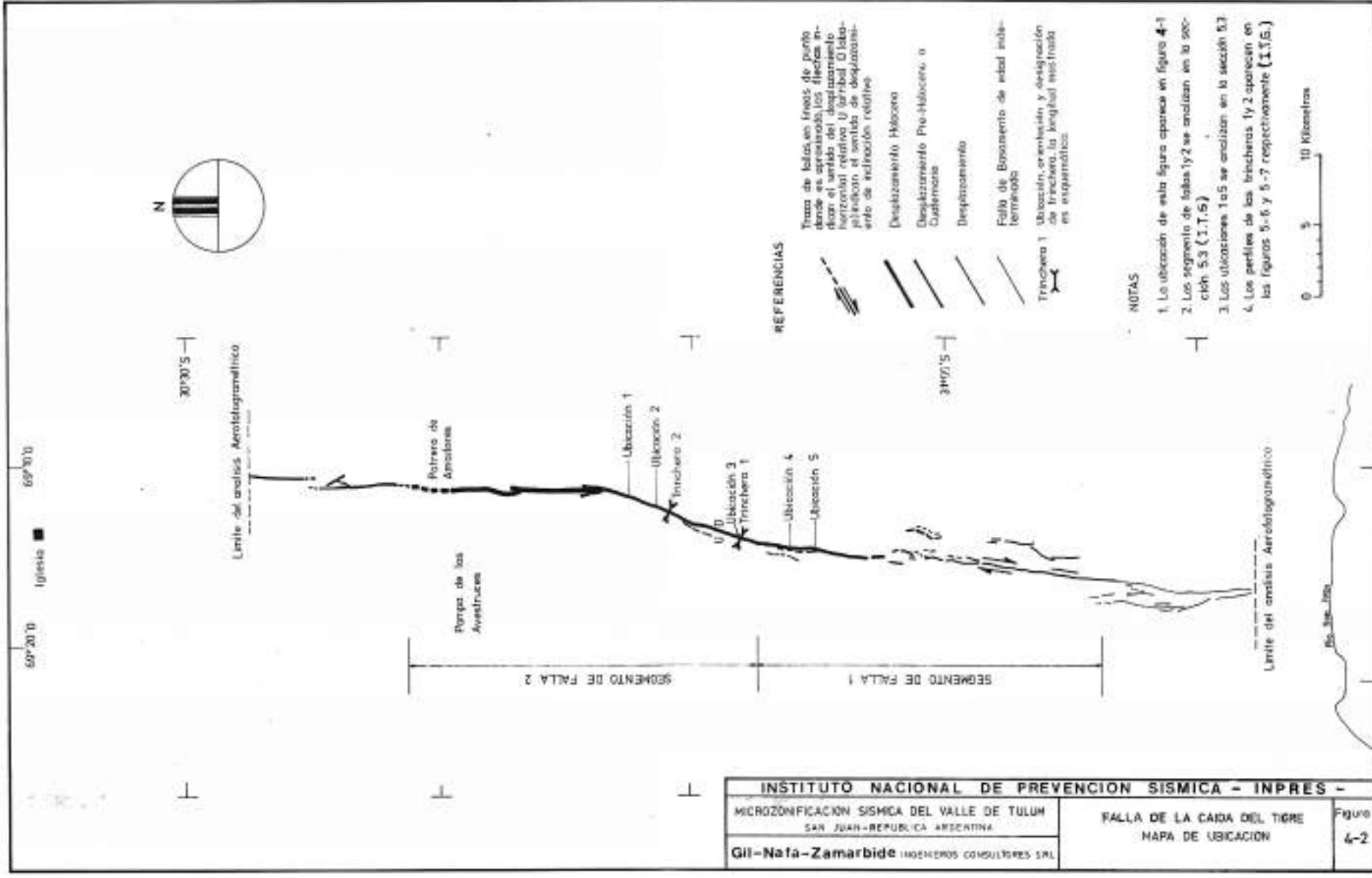
TABLA 4-2

RESUMEN DE LAS FUENTES SISMICAS POTENCIALES, SUPERFICIALES

N°	F U E N T E Nombre	Longitud (km)	Rumbo	Buzamiento	Terremoto Potencial Máximo	Recurrencia para la fa- lla (años)
1	Falla de la Caf da del Tigre	1.000	N-S	45° 0 ³	8	800
2	Región de la Precordillera	-	N-S	45° 0 ³	7-3/4	Nota 2
3	Falla del Fren- te Norte	200	N-S	45° 0 ³	7-3/4	4.000
4	Falla de la Pre cordillera	130	Nota 4	35° E ⁵	7-1/2	250
5	Falla de la Sie rra de Pie de Palo	60	Nota 4	90°	7-3/4	4.000
6	Falla de la Sie rra del Valle Fértil	300	N70° 0	45° E ⁶	7-3/4	20.000

NOTAS:

1. Las fuentes, y los números de las fuentes se muestran en la Figura 5-1.
2. Basándonos en la sismicidad histórica esperamos un intervalo de recurren-
cia de 10.000 años para la región. Se infiere que todas las fuentes po-
tenciales se orientan norte-sur y tienen un buzamiento hacia el oeste de
45°.
3. Se infiere que esta falla tiene un buzamiento hacia el oeste de 45° has-
ta una profundidad de 15 a 20 km. Debajo de los 20 km se infiere que
el buzamiento disminuye a 10° ó 20° hacia el oeste.
4. Dirección variable como se muestra en la Figura 4-1.
5. Este buzamiento se obtiene de las trincheras excavadas a través de la fa
lla y se considera representativo hasta una profundidad de 15 a 20 km.
Por debajo de los 20 km, se infiere que el buzamiento disminuye a 10° ó
20° hacia el este.
6. Este buzamiento parece ser representativo hasta una profundidad de 15 a
20 km. Por debajo de los 20 km se infiere que el buzamiento disminuye a
10° ó 20°.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		FALLA DE LA CAIDA DEL TIGRE MAPA DE UBICACION	Figura 4-2
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA			
Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.			

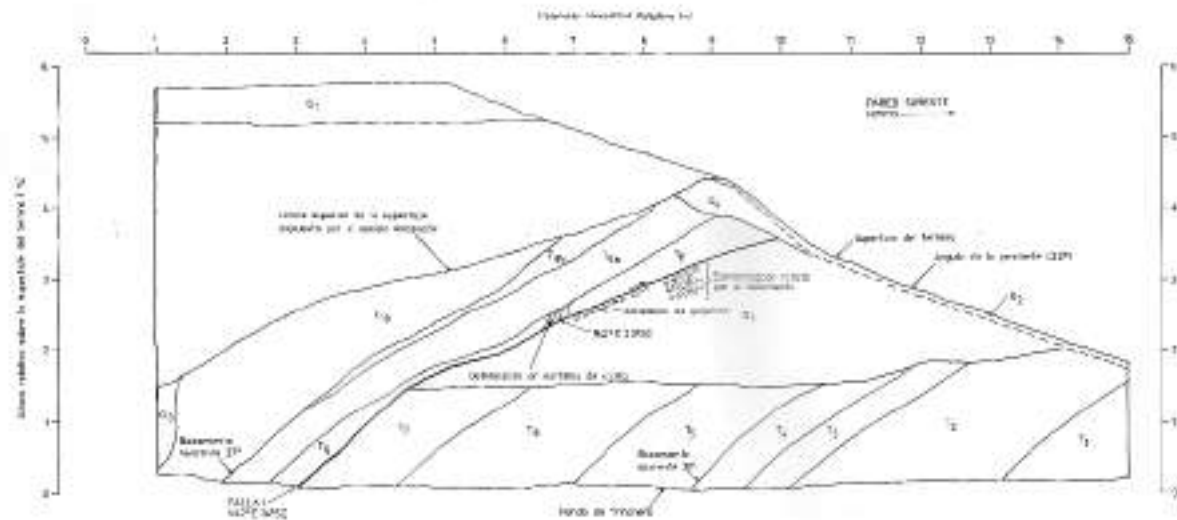
REFERENCIAS

- Trazo de fallas en frentes de punto donde se aprasiona, los frentes indican el sentido del desplazamiento horizontal relativo y el sentido de desplazamiento de inclinación relativo.
- Desplazamiento Holoceno
- Desplazamiento Pre-Holoceno o Cuaternario
- Desplazamiento
- Falla de Bronzamiento de edad no terminada
- Ubicación, orientación y elongación de trinchera, la longitud está dada en esquemas.

NOTAS

1. La ubicación de esta figura aparece en figura 4-1
2. Los segmentos de fallas 1 y 2 se analizan en la sección 5.3 (1.7.6)
3. Las ubicaciones 1 a 5 se analizan en la sección 5.3
4. Los perfiles de las trincheras 1 y 2 aparecen en las figuras 5-6 y 5-7 respectivamente (1.7.6.)





NOTAS

1. La ubicación de esta trinchera se muestra en la figura 1.1 (A.T. 65).
2. Las unidades geológicas de 1910 (P.M. de 1910) se muestran en la figura 1.1 (C.T. 66).
3. Las unidades litológicas se detallan por separado.

5.0. SISMICIDAD DE LA PROVINCIA DE SAN JUAN.

En este estudio se ha analizado el registro de la sismicidad histórica en los alrededores de la provincia a fin de perfeccionar la identificación de fuentes sísmicas significativas, acotar sus magnitudes máximas basadas en registros históricos y comparar los datos de recurrencia histórica con los de recurrencia geológica a largo plazo de los desplazamientos de las fallas activas. Los resultados se usan luego en el capítulo 6 para analizar la exposición sísmica en la provincia.

La colonización española y por lo tanto el registro histórico en nuestro país comenzó en el siglo 16. Alrededor de 1560 habían suficientes pueblos y misiones en la región como para que todos los eventos con (Ms) 7.0 hayan sido informados (Jefferson, 1930). Ya en 1826 se publicaban periódicos en Mendoza, San Juan y La Rioja (Fernández, 1943); desde entonces se debería haber informado acerca de cualquier terremoto con (Ms) 6,0. Debido al incremento de la población y la introducción de instrumental sismográfico, puede decirse que el registro de los terremotos de magnitud (Ms) 5 está razonablemente completo a partir de 1920.

Desde los comienzos de 1960 el nivel de magnitud a partir del cual el registro de la actividad sísmica puede considerarse completo ha descendido a (Ms) 4 para la región, debido a la instalación de instrumental sismográfico más moderno tanto en la región como en el resto del mundo. Los intervalos mencionados anteriormente se usaron en el análisis de la recurrencia de terremotos.

Cerca del 35% de los terremotos catalogados con (Ms) 6 no tienen profundidad focal suministrada por las diversas fuentes mundiales de datos. Esto es más común para los terremotos ocurridos antes de 1962. Los mapas de isosistas de algunos de estos sismos se asemejan notablemente a los mapas correspondientes de los típicos eventos de corteza. Cuando

no fue posible aplicar este criterio a los sismos de profundidad de foco desconocida, catalogándolos de esta manera como pertenecientes a la corteza, la información de esos sismos no fue utilizada en el análisis. Es probable que la mayoría de estos sismos hayan ocurrido en la zona de corteza, ya que gran parte de la sismicidad de la región ocurre en esa zona y los sismos lejanos de foco superficial son más difíciles de acotar en profundidad.

5.1. Sismicidad de la zona de Benioff.

La relación entre frecuencia y magnitud para la zona de Benioff se calculó utilizando los datos de la región situada entre los 66,5° y los 69,5° de longitud oeste y los 24° y 34° de latitud sur, para el período comprendido entre 1907 y 1980. Los resultados se muestran en la Figura 5-1. Los valores a y b (3,31 y 1,00 respectivamente) se calcularon con la fórmula de Richter (1958):

$$\log N = a - bM$$

donde:

N : es el número de terremotos que tienen magnitud mayor o igual que M

a y b: son la ordenada al origen y la pendiente de la relación lineal respectivamente.

Los datos se normalizaron para un intervalo de un año y para un área de 1.000 km². Los valores a y b se calcularon mediante un ajuste por mínimos cuadrados.

El máximo terremoto histórico correspondiente a la zona de Benioff, que se sepa ha ocurrido en la región bajo estudio, es el de magnitud (Ms) 7,1 de 1927. En un estudio correspondiente a la parte de baja inclinación de la zona de subducción de Alaska (WCC, 1982), se concluyó que la magnitud

máxima de (Ms) 7-1/2 resulta razonable para el rango de profundidad entre 35 y 70 km. Este valor máximo está de acuerdo con los registros históricos mundiales, incluyendo la zona de subducción de Sudamérica. En el presente estudio, en virtud de la limitada información disponible, se ha juzgado razonable adoptar el mismo valor de magnitud máxima (Ms) 7-1/2 para la zona de Benioff bajo la Provincia de San Juan. A pesar de que este valor máximo es algo incierto, su distancia más cercana a la zona que nos ocupa es tan grande (100 km) que la incertidumbre no se considera significativa.

La recurrencia del terremoto máximo de magnitud (Ms) 7-1/2 es $6,5 \times 10^{-5}$ por año y por cada 1.000 km^2 , o una vez cada 15.500 años y por cada 1.000 km^2 en la zona de Benioff debajo de la provincia.

5.2. Sismicidad de la corteza.

En la Figura 5-2 se han representado todos los sismos del catálogo histórico de terremotos con magnitud (Ms) 6 y profundidad focal menor que 65 km. A fin de evaluar la recurrencia de los terremotos hemos asumido que toda la sismicidad de corteza de magnitud (Ms) 5 observada, refleja directa o indirectamente movimientos en las fallas que son evidentes en la superficie del terreno. Por lo tanto hemos asociado los mayores terremotos históricos con magnitud (Ms) 5, con las fallas activas indentificadas dentro de la provincia de acuerdo como figura en la Tabla 5-1.

El modelo de la actividad sísmica histórica en la provincia y sus alrededores desde el siglo 16 en adelante, es claramente no uniforme en el tiempo. Para comprender mejor las implicancias de esta variación temporal en la microfijación sísmica que nos ocupa, se ha estudiado el análisis del registro de la sismicidad histórica de China realizado por Mc Guire (1977). En China la sismicidad de los 50 a 100

años precedentes, predicen con mayor exactitud que los últimos 200 años de sismicidad, lo que ocurrirá en los próximos 50 años.

La observación de Mc Guire(1977) referente a la confiabilidad estadística de la recurrencia de terremotos históricos, sugiere que el intervalo integral del registro de la sismicidad histórica de alrededor de 60 años que se dispone en la Provincia de San Juan, para terremotos de magnitud (M_s) 5, puede ser adecuado para predecir probabilidades de peligro sísmico para los próximos 50 años, pero que el intervalo más largo que se extiende desde 1560 a la fecha, puede resultar menos confiable. La base principal para definir la recurrencia de los terremotos en este estudio, es la evidencia (geológica) de comportamiento de fallas. Además se compara la ocurrencia de terremotos históricos dentro de los últimos 60 a 120 años, con el comportamiento geológico antes mencionado en cada falla.

Como la cantidad de terremotos asociados con cada falla (Tabla 5-1) es demasiado pequeña para calcular con exactitud los valores de b , se analizó un área mayor para obtener un valor regional promedio de b . La Figura 5-3 muestra la relación entre frecuencia y magnitud para terremotos con profundidades de foco menores de 65 km, para el mismo período y área de la corteza que se definieron para la zona de Benioff. Se agregaron sismos con magnitudes en el rango $5,0 \leq M_L \leq 6,0$ obtenidos del catálogo del INPRES(1980). El valor de b resultante es 0,78. Dicho valor se usó para confeccionar las relaciones entre frecuencia y magnitud para las seis fallas que figuran en la tabla 5-1, las que pueden observarse en las Figuras 6-6 a 6-11 del Informe Técnico General. En cada figura la relación de recurrencia está determinada por una línea recta de pendiente $b=0,78$ que pasa por el valor de magnitud máxima correspondiente a la recurrencia extraída de la tabla 6-1. Para cada una de las fallas o

regiones de fallas, se graficó la actividad sísmica asociada, extraída de la tabla 5-1.

Un análisis de esas figuras muestra que la aplicación de esta técnica conduce algunas veces a modelos que difieren marcadamente de la sismicidad asignada a cada falla.

La sismicidad que se asumió como asociada con la Falla de la Caída del Tigre es del todo consistente con la reurrencia geológica. Para la Región de la Precordillera no existen terremotos con magnitud por encima de (Ms) 5 asociados con la región, con la posible excepción del terremoto de 1894. La Falla del Frente Norte y la Falla de Valle Fértil tienen también pocos sismos asociados con ellas, como para proveer una base razonable para comparar la información sobre la recurrencia geológica e histórica.

En este estudio hemos asumido que el terremoto de / 1894 está asociado con la Falla del Frente Norte, pero dicha asociación es arbitraria.

Para la Falla de la Precordillera el grado de recurrencia basado en el análisis geológico resulta prácticamente el doble que lo que los datos históricos indican. Se considera que este nivel de variación está dentro de rango de incertidumbre razonable en recurrencia y que está del lado conservativo.

La Falla de la Sierra de Pie de Palo evidencia un grado de recurrencia histórica mucho mayor (por un factor 3 ó 4) que el que ha sido estimado basándonos en análisis geológicos. Este alto nivel está afectado por la secuencia sísmica de 1977, un suceso histórico que puede no volver a ocurrir durante siglos. Por lo tanto se usa la recurrencia geológica para representar la sismicidad esperada tanto para el futuro cercano como para el comportamiento a largo plazo de la falla.

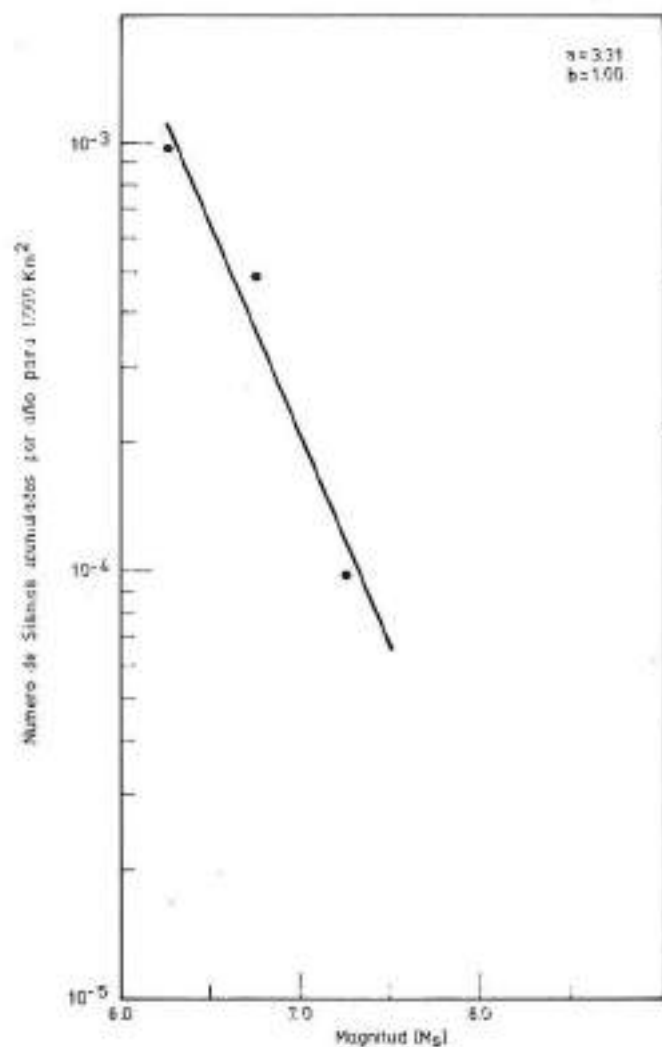
Sobre la base de la discusión precedente, puede decir

se que la información geológica provee relaciones de recurrencia que son razonablemente consistentes con la información sobre sismicidad histórica de los 60 a 120 últimos años, para las fuentes de corteza o superficiales en la Provincia de San Juan, a pesar de que existen variaciones o incertidumbres en los grados de recurrencia, que llegan a estar afectados por un factor cercano a 2, cuando determinados terremotos se asocian con fallas individuales.

TABLA 5-1

Terremotos asociados con fallas de la corteza

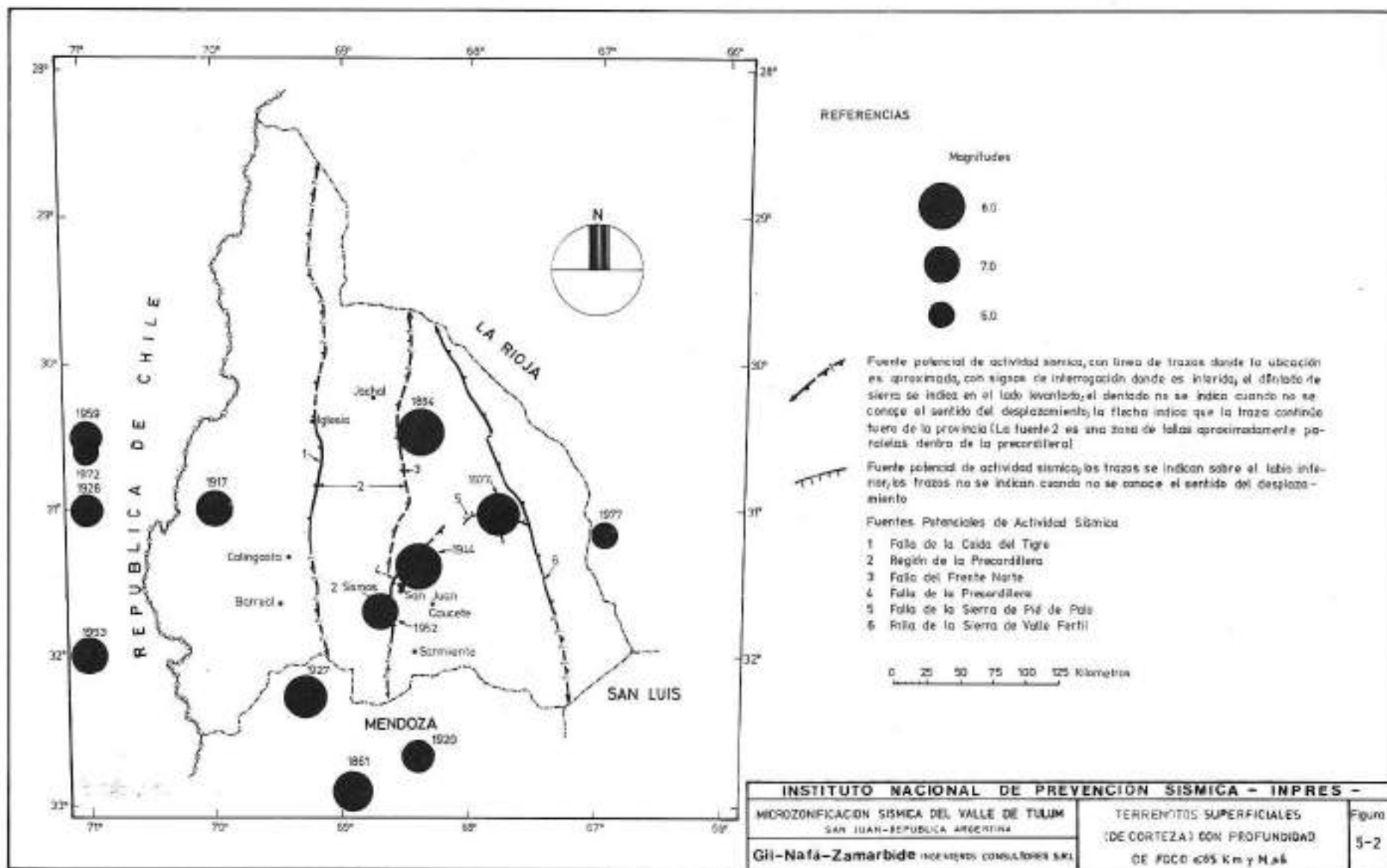
<u>Nº</u>	<u>Nombre de la fuente</u>	<u>Año de ocurrencia</u>	<u>Magnitud (Ms)</u>
1	Falla de la Caída del Tigre	1864	7.0
		1929	5.7
		1975	5.0
		1967	5.4
		1782	6.5
		1927	7.4
		1960	5.5
		1972	5.4
2	Región de la Precordi- llera	1917	6.5
3	Falla del Frente Norte	1894	7.5-8.2
		1963	5.5
4	Falla de la Precordi- llera	1920	6.3
		1929	5.7
		1944	7.4
		1947	5.7
		1972	5.8
		1952	6.7
5	Falla de la Sierra Pie de Palo	1974	5.3
		1971	5.1
		1964	5.6
		1977	7.4
		1940	5.7
6	Falla de la Sierra de Valle Fértil	1964	5.0
		1965	5.9

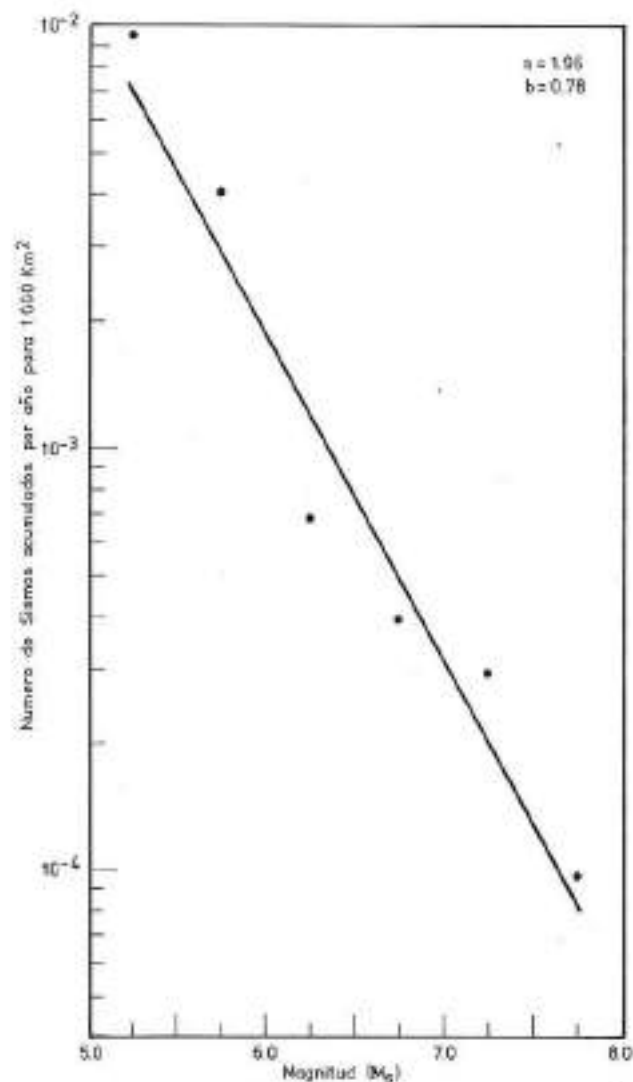


NOTAS

1. Este gráfico incluye 10 sismos ubicados entre los 29° y 34° de latitud Sur y los 665° y 685° de longitud Oeste.
2. Los valores a y b representan el ajuste por mínimos cuadrados de los datos.

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN- REPUBLICA ARGENTINA	RECURRENCIA PARA LA ZONA DE BENOFF (h = 65 Km.) de 1917 a 1980	Figura 5-j
Gil-Nata-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		





NOTAS

1. Este gráfico incluye 21 sismos de $M_s \geq 5$ entre los 20° y 30° de latitud Sur y los 66° y 71° de longitud Oeste.
2. Los valores a y b representan el ajuste por mínimos cuadrados de los datos.

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN, REPUBLICA ARGENTINA

RECURRENCIA PARA LOS TERREMOTOS
SUPERFICIALES (DE CORTEZA)
(h = 65 Km.) de 1917 a 1960

Figura
5-3

Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

6.0. ANÁLISIS DE EXPOSICION SISMICA.

6.1. Enfoque general.

La exposición sísmica en un punto depende de:(1)la ubicación y geometría de las fuentes sísmicas cercanas al sitio; (2) la frecuencia de ocurrencia de terremotos de distintas magnitudes en las diversas fuentes; (3) la atenuación del movimiento sísmico desde las fuentes al sitio.

El propósito de un análisis de exposición sísmica es determinar las probabilidades de que valores pico del movimiento del terreno puedan ser excedidos en un punto e / identificar las fuentes sísmicas que presentan una contribución dominante a tales probabilidades de excedencia. El cálculo de la probabilidad de excedencia en el sitio incluye tres funciones de probabilidad:(1) la probabilidad de que un terremoto de una determinada magnitud ocurra durante un intervalo especificado de tiempo, lo que se estima a partir de la frecuencia de ocurrencia en cada fuente. El orden de magnitud está limitado por la magnitud máxima posible en la fuente; (2)la probabilidad de que la superficie de rotura se ubique a una distancia específica desde el sitio, lo que se determina considerando la geometría de la falla y la relación entre la magnitud y el tamaño del área de rotura, y (3) la probabilidad de que el movimiento del terreno, originado por un determinado terremoto ubicado en la fuente, exceda un nivel especificado en el sitio. Este requiere la definición de relaciones de atenuación para fuertes movimientos del terreno.

Para preparar un mapa de exposición se repiten estos cálculos para distintos puntos en una retícula que abarque la zona bajo estudio. Luego se trazan las curvas de igual nivel de movimiento del terreno a través de la cuadrícula.

6.2. Formulaciones matemáticas.

6.2.1. Probabilidad de excedencia.

El modelo de exposición utilizado se basa en el modelo de análisis presentado por Kulkarni y otros (1979). Este modelo es similar a otros (Cornell, 1968; McGuire, 1974, 1978; Kiureghian y Ang, 1977) e incluye características adicionales como se describe más adelante. Asumimos que la ocurrencia de terremotos en una falla constituye un proceso de // Poisson. La hipótesis de que la existencia de terremotos es un proceso Poisson ha sido utilizada ampliamente. El modelo de Poisson es una asunción razonable para regiones en las / que la información es insuficiente para proporcionar más / que una estimación de un promedio de la frecuencia de ocurrencia (Cornell, 1968). Además, McGuire (1979) sacó como conclusión luego de analizar el catálogo de terremotos chinos, que un modelo estacionario de recurrencia de terremotos // constituye una aproximación razonable si se usa el pasado reciente para predecir el futuro cercano.

La ocurrencia de movimientos del terreno en un sitio determinado que exceden un cierto nivel es también un proceso de Poisson, si: (1) la ocurrencia de terremotos es un proceso de Poisson, y (2) la probabilidad de que cualquier terremoto origina movimientos del suelo en el sitio que excedan un nivel especificado, es independiente de la ocurrencia de otros terremotos. La probabilidad de que un cierto / parámetro del movimiento del terreno "Z", exceda un valor especificado "z" en un período de tiempo "t" está dada por:

$$p(Z > z/t) = 1 - e^{-\bar{\nu}(z)t} \quad (6-1)$$

donde $\bar{\nu}(z)$ es la frecuencia media anual de eventos en las que Z excede a z. La frecuencia media se obtiene sumando las contribuciones de todas las fuentes.

$$\bar{\nu}(z) = \sum_n \nu_n(z) \quad (6-2)$$

donde \dot{V}_n es la frecuencia media anual de sismos en la fuente n para la cual Z excede a z en el sitio. El parámetro $\dot{V}_n(z)$ está dado por la expresión:

$$\dot{V}_n(z) = \sum_i \sum_j \lambda_n(m_i) \cdot p(R=r_j | m_i) \cdot p(Z > z | m_i, r_j) \quad (6-3)$$

donde:

- $\lambda_n(m_i)$: es la frecuencia media anual de terremotos de magnitud m_i en la fuente n ;
- $p(R=r_j | m_i)$: la probabilidad de que, dada la ocurrencia de un terremoto de magnitud m_i en la fuente n , r_j sea la distancia más corta entre la superficie de rotura y el sitio;
- $p(Z > z | m_i, r_j)$: la probabilidad de que, dado un terremoto de magnitud m_i a una distancia r_j , el movimiento del terreno exceda el nivel z especificado.

Se asume que la frecuencia de recurrencia de terremotos en una fuente cumple la relación de Gutenberg-Richter (Richter, 1958):

$$\log_{10} N(m) = a - bm \quad (6-4)$$

donde $N(m)$ es el número de sismos por año con una magnitud mayor que m , y a y b son constantes.

Cuando se aplica la ecuación 6-4 a una determinada falla, el rango de magnitudes está limitado por la máxima magnitud posible en la falla.

6.2.2. Distribución de probabilidad condicional de la menor distancia.

La función de probabilidad $p(R=r_j | m_i)$ se especifica asumiendo que la rotura originada por el terremoto tiene igual probabilidad de ocurrir en cualquier parte del plano de falla. La menor distancia entre la superficie de rotura y el sitio para una determinada magnitud es función de la geometría de la falla y el área de rotura. Dividiendo el plano de falla en una serie de líneas paralelas, el área de rotura puede ser tratada como una serie de roturas lineales. Se pueden determinar expresiones analíticas para la función de distribución acumulativa $\hat{p}(R < r | m_i)$. La función de probabilidad acumulada $p(R=r_j | m_i)$ se obtiene discretizando la función de distribución, utilizando un incremento adecuado Δr y calculando las sucesivas diferencias.

6.2.3. Distribución de probabilidad condicional basada en la atenuación.

La amplitud de un parámetro Z de movimiento del terreno, a una distancia r_j de un terremoto de magnitud m_i , se considera como una variable aleatoria que tiene distribución log-normal. Las relaciones de atenuación describen la variación de la media y la variancia de $\ln Z$ con la distancia y la magnitud. La probabilidad de que Z exceda a z está dada por la ecuación:

$$p(Z > z | m_i, r_j) = 1 - F_{\mu} \left(\frac{\ln z - E[\ln Z | m_i, r_j]}{S[\ln Z | m_i, r_j]} \right) \quad (6-5)$$

donde:

$F_{\mu}()$: es la función de distribución acumulativa de una variable unitaria normal;

$E[\ln Z | m_i, r_j]$: es un valor medio de $\ln Z$ a una distancia r_j de un terremoto de magnitud m_i

$S[\ln Z | m_i, r_j]$: es la desviación estándar de $\ln Z$

El modelo usado en el análisis incorpora un procedimiento para truncar la distribución de Z a fin de evitar la ocurrencia de valores irrealmente altos a niveles de probabilidad bajos. Se asume que la ecuación 6-5 se puede aplicar a todas las fuentes, independientemente de la elección de los otros parámetros de entrada.

6.2.4. Parámetros para el trazado de mapas de exposición sísmica.

La frecuencia media anual de sismos que exceden el nivel Z del movimiento del terreno para la fuente n se calcula usando las ecuaciones 6-3 a 6-5. La frecuencia media / anual total de sismos que exceden z en todas las fuentes se calcula con la ecuación 6-2. La probabilidad de que z sea excedido en un período de tiempo determinado, se obtiene entonces a partir de la ecuación 6-1. Los parámetros individuales para los cuales se trazaron los correspondientes mapas son: (1) aceleraciones y velocidades máximas más probables de ocurrir en 50 y 100 años; (2) valores del movimiento del terreno con probabilidad de excedencia especificada y (3) períodos de retorno para niveles especificados de movimiento del terreno.

6.3. Evaluación de la información necesaria para el análisis de exposición sísmica.

La información necesaria para el análisis de exposición sísmica consiste en: definición de las fuentes de actividad sísmica en lo que respecta a su ubicación; magnitudes máximas de terremotos y grado de actividad; relación entre la magnitud del terremoto y el tamaño de la rotura y una relación de atenuación para fuertes movimientos del terreno. Esta información se analiza a continuación.

6.3.1. Fuentes sísmicas potenciales y recurrencia.

Para el análisis de exposición sísmica asumimos que todos los terremotos superficiales de la corteza, de magnitud igual o mayor que (M_s) 6, ocurren solamente en las seis fuentes sísmicas descritas anteriormente. Cada fuente puede representar una zona de falla conteniendo una o más fallas. No obstante, a los efectos de análisis de exposición, cada zona generadora se trata como un solo plano de falla. No se consideraron en este análisis las fuentes que sólo / pueden generar terremotos de pequeña magnitud ($M_s < 5.0$).

Al calcular la exposición sísmica cerca de los límites de la provincia, se deben incluir en el análisis las contribuciones de los terremotos que ocurren fuera de la misma. En consecuencia, donde quiera que una de las fuentes sísmicas se extienda fuera del límite de la provincia, se agregó un segmento de falla adicional de 50 km de longitud al largo total de la falla. Para mantener la misma densidad de recurrencia sísmica dentro de la provincia, el intervalo de recurrencia para la longitud de falla incrementada se reduce en proporción inversa al aumento de la longitud total. Estas longitudes de falla totales y los intervalos de recurrencia, ambos modificados, se presentan en la tabla 6-1.

6.3.1.1. Fuentes sísmicas potenciales en la corteza.

Pocas de las fallas existentes en la provincia han tenido terremotos suficientes como para definir con exactitud las relaciones entre frecuencia y magnitud. En consecuencia se usó para cada falla el valor regional de b para sismicidad superficial o de corteza. Los valores de a fueron calculados a partir de las recurrencias estimadas con los datos geológicos. Esta información se normalizó para un período de 400 años de observación para eventos con $M \geq 7.0$, 155 / años para $6.0 \leq M \leq 7.0$ y 60 años para $5.0 \leq M \leq 6.0$.

La tabla 5-1 contiene los terremotos históricos y las fallas a las que se los atribuye.

A continuación se resumen los parámetros de cada una de las fuentes sísmicas potenciales utilizadas para el análisis de la exposición sísmica.

- 1) La falla de la Caída del Tigre tiene aproximadamente 1.000 km de longitud, con un terremoto potencial máximo de magnitud (Ms) 8,0 y un intervalo de recurrencia de 800 años. Debido a que 500 km de la falla están fuera de la provincia y por lo tanto lo suficientemente lejos como para no tener un efecto significativo sobre la exposición sísmica, se ajustó la longitud a 500 km (400 km dentro de la provincia y 50 km al norte y al sur de la misma) para el análisis de la exposición sísmica (es decir, la sismicidad a lo largo de 1.000 km redistribuida sobre una longitud de 500 km), el intervalo de recurrencia estimado en el Capítulo 4 se corrigió llevándolo a 1.600 años (Tabla 6-1).
- 2) La Región de la Precordillera contiene ocho o más fallas paralelas que se consideran fuentes sísmicas potenciales. Para el análisis de la exposición sísmica se consideró que la zona tenía aproximadamente 400 km de longitud, a fin de incluir el efecto de los terremotos que ocurrieron dentro de los 50 km de distancia de la provincia. Se espera que un terremoto potencial máximo de magnitud (Ms) 7-3/4 tenga un intervalo de recurrencia de 7.500 años basándose en la longitud reajustada de la región.
- 3) A la falla del Frente Norte se le asignó una longitud de 250 km para el análisis de exposición sísmica. Para el terremoto potencial máximo que tiene una magnitud (Ms) 7-3/4 se adoptó un intervalo de recurrencia de /

3.200 años a fin de tener en cuenta el reajuste de la longitud de falla.

- 4) Para la falla de la Precordillera se adoptó una longitud de 250 km para el análisis de exposición sísmica, con un terremoto potencial máximo de magnitud (Ms) 7-1/2. El intervalo de recurrencia se modificó llevándolo a 200 años para incluir el reajuste de la longitud de falla.
- 5) La falla de la Sierra de Pie de Palo tiene una longitud de 60 km con un terremoto potencial máximo de magnitud (Ms) 7-3/4. El intervalo de recurrencia es de 4.000 años.
- 6) Se asignó a la falla de la Sierra de Valle Fértil una longitud de 400 km para el análisis de exposición sísmica y un terremoto potencial máximo de magnitud (Ms) 7-3/4. El intervalo de recurrencia se ajustó a 15.000 años para tener en cuenta la modificación de la longitud de falla.

6.3.1.2. Zona de Benioff.

La contribución de la zona de Benioff al análisis de exposición sísmica se tomó de la Figura 5-1. El coeficiente a tiene un valor de 3,31 y b un valor de 1,00. A partir de estos valores se le asignó al terremoto potencial máximo una magnitud (Ms) 7-1/2 y un intervalo de recurrencia de 15.000 años cada 1.000 km².

6.3.2. Relación entre la longitud de rotura y la magnitud.

Esta relación se determina a partir de una semejante entre magnitud y área de rotura obtenida por Wyss(1979):

$$\ln A = 2,146 M - 8,384 \quad (6-6)$$

Se asume que para el fallamiento inverso la relación entre longitud y ancho de rotura es de 1:1 para terremotos de magnitud 4 y 2: 1 para terremotos de magnitud 7. Usando estas relaciones la ecuación 6-6 conduce a longitudes de rotura de 1,1 y 39,1 para magnitudes 4 y 7 respectivamente. Ajustando una ecuación exponencial a estos dos puntos, obtenemos la relación siguiente:

$$\ln L = 1,189 M - 4,654 \quad (6-7)$$

6.3.3. Relaciones de atenuación.

6.3.3.1. Aceleración horizontal máxima para terremotos superficiales.

En nuestro país existen muy pocos registros de fuertes movimientos obtenidos durante terremotos, por lo que los datos para realizar análisis de regresión resultan insuficientes. En consecuencia, fue necesario desarrollar una ecuación de atenuación para el oeste de nuestro país, modificando una relación de atenuación existente para el oeste de los E.E.U.U., utilizando para ello los datos de intensidad(MM) y los registros de sismoscopios disponibles de la zona.

La ecuación de atenuación utilizada en el análisis de exposición es de la forma:

$$a_{med} = b_1 e^{b_2 M} (R + C)^{b_3}$$

donde: a_{med} es la aceleración pico media, M es la magnitud

del terremoto, R es la menor distancia a la rotura provocada por el terremoto y C está dada por la expresión:

$$C = C_1 \cdot e^{C_2 M}$$

Para los terremotos superficiales de corteza del oeste de los E.E.U.U. se obtiene (Woodward-Clyde Consultants):

$$a_{med} = 0,141 e^{1,04 M_s} (R + 0,775 e^{0,5 M_s})^{-1,75} \quad (6-8)$$

Para adaptar esta relación al área en estudio se compararon las intensidades máximas registradas para terremotos de magnitudes iguales.

La ecuación de atenuación resultante es:

$$a_{med} = 0,063 e^{1,0 M_s} (R + 0,193 e^{0,714 M_s})^{-1,4} \quad (6-9)$$

Varios estudios (por ejemplo, Esteva, 1969; Donovan, 1973; McGuire, 1974; Campbell, 1981) han demostrado que la distribución de aceleraciones alrededor de la mediana puede representarse por medio de una distribución log-normal. Para el análisis de exposición sísmica, la desviación estándar de $\ln a_{max}$ se fijó en 0,4, comparable a los valores de error estándar obtenidos para los datos referidos a magnitudes grandes en el oeste de los E.E.U.U..

Los valores de movimiento del terreno predichos en términos de aceleración máxima usando la ecuación 6-9, se representan en la Figura 6-1. Estos valores del movimiento se comparan en la Figura 6-2 con los escasos datos sobre movimientos fuertes que se disponen para el oeste de nuestro país. Durante el terremoto de 1977 de magnitud 7,4 se obtuvieron dos registros a distancias epicentrales de 70 y 210 km y otros dos durante una réplica de magnitud 5,9 a distancias /

epicentrales de 50 y 60 km.

Como se puede observar, las relaciones obtenidas proporcionan un ajuste razonablemente bueno para el escaso grupo de datos disponible.

6.3.3.2. Aceleración horizontal máxima para terremotos de la zona de Benioff.

La información sobre fuertes movimientos provenientes de terremotos ocurridos en la zona de Benioff en Japón, Perú, Alaska y el noroeste de E.E.U.U., indica un grado de atenuación más bajo si se lo compara con los terremotos superficiales de corteza (Woodward Clyde Consultants, 1978; Crouse y Turner, 1980; Idriss, 1980). En esta evaluación de exposición sísmica hemos utilizado la relación de atenuación desarrollada por Woodward Clyde Consultants (1978) para terremotos de la Zona de Benioff. Los valores medios de la aceleración pico están dados por la relación:

$$a_{med} = 0,290 e^{0,587Ms} (R + 0,864 e^{0,463 Ms})^{-1,05} \quad (6-10)$$

En los datos correspondientes a la zona de Benioff se observa una mayor dispersión, consecuentemente en el análisis utilizamos una desviación estandar de 0,6 para $\ln a_{max}$.

6.3.3.3. Velocidad horizontal máxima.

El examen de los datos sobre fuertes movimientos, registrados durante terremotos superficiales ocurridos en el oeste de los E.E.U.U., indica que la relación promedio entre velocidad pico (v en cm/seg) y aceleración pico (a en unidades g) está dada por la relación:

$$\frac{v}{a} = -127 + 37 Ms \quad (6-11)$$

Combinando la ecuación 6-11 con la ecuación 6-9 se obtienen las relaciones de atenuación para velocidad horizontal máxima. La limitada información disponible sugiere que la relación de atenuación para velocidad pico puede ser algo conservativa.

Para terremotos de la Zona de Benioff se utilizó la relación de atenuación de la velocidad desarrollada por WCC (1978) para los terremotos de la zona de subducción. Los valores medios de la velocidad horizontal pico están dados por:

$$v_{med} = 5,33 e^{0,72 M_s} (R + 0,864 e^{0,463 M_s})^{-1,05} \quad (6-12)$$

6.4. Resultados del análisis de exposición sísmica.

6.4.1. Definición del reticulado utilizado para la confección de mapas.

Los mapas de exposición sísmica para la zona estudiada, se prepararon utilizando los valores de los distintos parámetros a representa, calculados en cada punto de un reticulado trazado sobre todo el mapa de la Provincia. Dicho reticulado tenía un espaciamiento de 30 minutos en dirección norte-sur entre los 27,5° y los 32,5° de latitud sur y de 15 minutos en dirección este-oeste entre los 67° y los 69,5° de longitud oeste. Además, en el Valle de Tulum el reticulado se densificó con puntos separados cada 10 minutos de latitud, entre los 31,33° y los 32° de latitud sur y cada 3 minutos / de longitud entre los 68,2° y los 68,65° de longitud oeste.

6.4.2. Mapas de exposición sísmica para el Valle de Tulum.

La Figura 6-3 muestra las curvas de aceleración instrumental máxima más probable, para un período de 50 años. La Fi

gura 6-4 muestra los niveles de aceleración que tienen un 10 por ciento de probabilidad de ser excedidos en 50 años. Las curvas de períodos de retorno aparecen en la Figura 6-5 para una aceleración de 0,2 g. La Figura 6-6 muestra las curvas de la velocidad instrumental máxima más probables, para un período de 50 años.

Los niveles de exposición relativamente uniformes / dentro del Valle son consecuencia de dos causas, el bajo grado de atenuación con la distancia de las amplitudes máximas del movimiento del terreno y el hecho de que la falla de la Precordillera buza debajo del Valle. Esta falla domina la exposición en el Valle de Tulum, por lo que, la variación de los parámetros de las otras fuentes de actividad sísmica sólo tienen una incidencia menor.

Como la relación de recurrencia para la falla está parcialmente definida por las evidencias geológicas para la recurrencia del terremoto máximo, un incremento de la magnitud adoptada conducirá a un aumento del nivel de actividad para todos los sismos pequeños, a menos que la pendiente de la relación entre frecuencia y magnitud disminuya.

Los restantes parámetros de fuente para la falla de la Precordillera son: longitud y buzamiento. Los cambios en la longitud total de la falla no tendrán incidencia en la / exposición en el Valle de Tulum y las variaciones del ángulo de buzamiento tendrán sólo pequeña influencia.

TABLA 6-1

Resumen de la información sobre fuentes sísmicas potenciales usados para el análisis de exposición sísmica

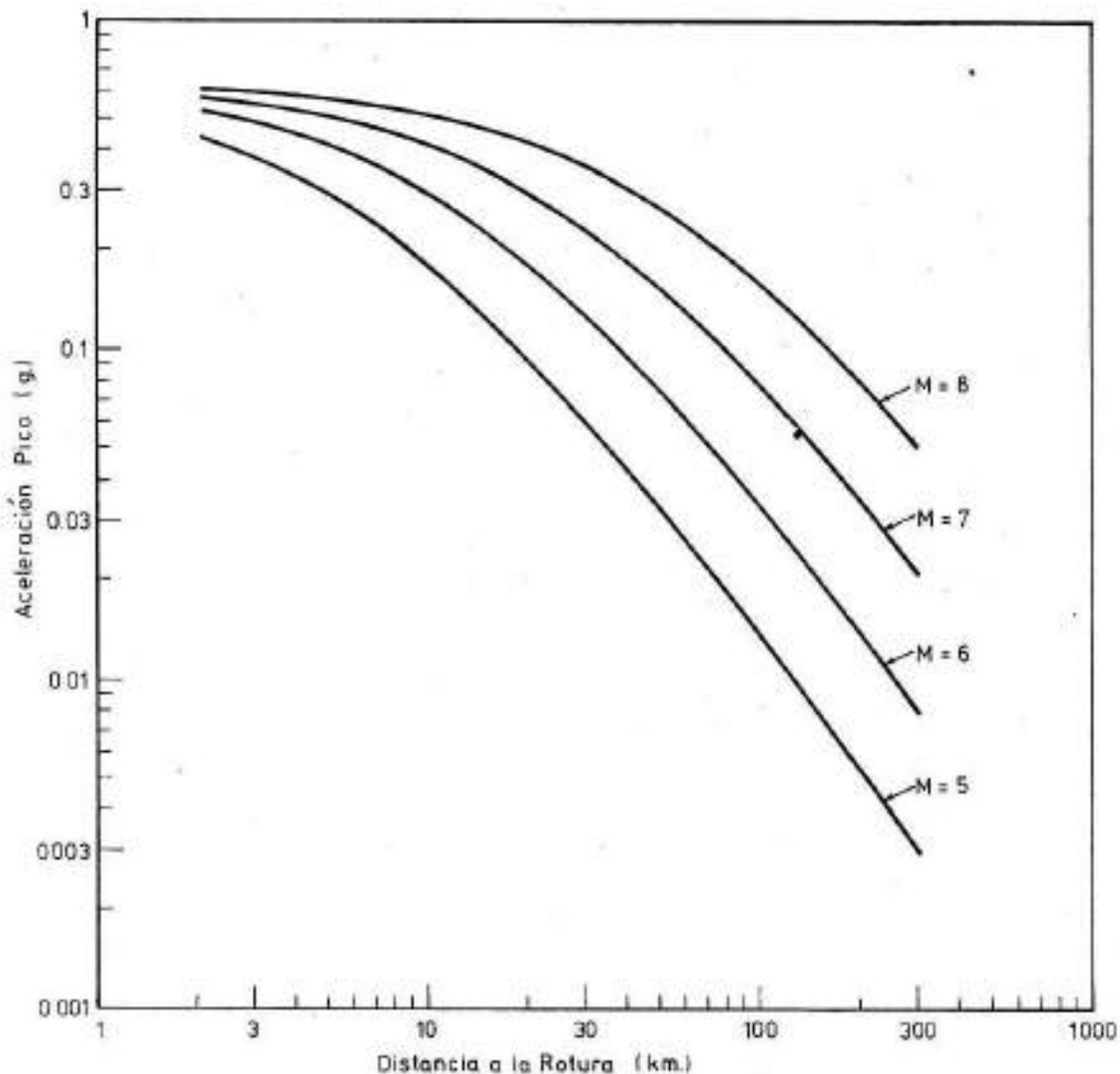
N°	Nombre de la Fuente	Longitud (Km)	Rumbo	Buzamien to	Terremoto Potencial Máximo	Recurrencia para la falla (años)
1	Falla de la Caída del Tigre	500	N-S	45°0 ³	8	1.600
2	Región de la Precor- dillera	400	N-S	45°0 ³	7-3/4	7.500
3	Falla del Frente Nor- te	250	N-S	45°0 ³	7-3/4	3.200
4	Falla de la Precor- dillera	250	Nota 4	35°E ⁵	7-1/2	200
5	Falla de la Sierra de Pie de Palo	60	Nota 4	90°	7-3/4	4.000
6	Falla de Valle Fértil	400	N 70°0	45°E ⁶	7-3/4	15.000
7	Zona de Benioff	-	--	Horizon- tal	7-1/2	15.500 ⁷

NOTAS:

1. Las fuentes y los números de cada una de ellas se encuentran en la Figura 4-1 excepto la zona de Benioff
2. Basándonos en la sismicidad histórica esperamos un intervalo de recurrencia de 10.000 años para la región. Se infiere que todas las fuentes potenciales se orientan de norte a sur y tienen una inclinación hacia el o este de 45°. Para el análisis de exposición sísmica se asumió que en la región existe un mínimo de ocho fuentes.
3. Se infiere que esta falla tiene un buzamiento hacia el oeste de 45° hasta una profundidad de 15 a 20 km. Por debajo de los 20 km se infiere que la inclinación disminuye a 10° a 20° hacia el oeste.
4. Dirección variable, como aparece en la Figura 4-1.
5. Esta inclinación se obtuvo de las trincheras excavadas a través de la falla y se consideran representativas hasta una profundidad de 15 a 20 km. Por debajo de los 20 km parece que esta inclinación disminuye hasta 10° a 20° hacia el este.
6. Este buzamiento parece ser representativo hasta una profundidad de 15 a 20 km. Por debajo de los 20 km esta inclinación parece disminuir a 10° a 20°.
7. Recurrencia del terremoto potencial.

TABLA 6-1 (Cont.)

8. Estos datos fueron ajustados para el análisis de exposición sísmica a partir de los que aparecen en la Tabla 4-2. La explicación de estos ajustes se discute en el Capítulo 6. El análisis de exposición sísmica se presenta en el Capítulo 6.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES -

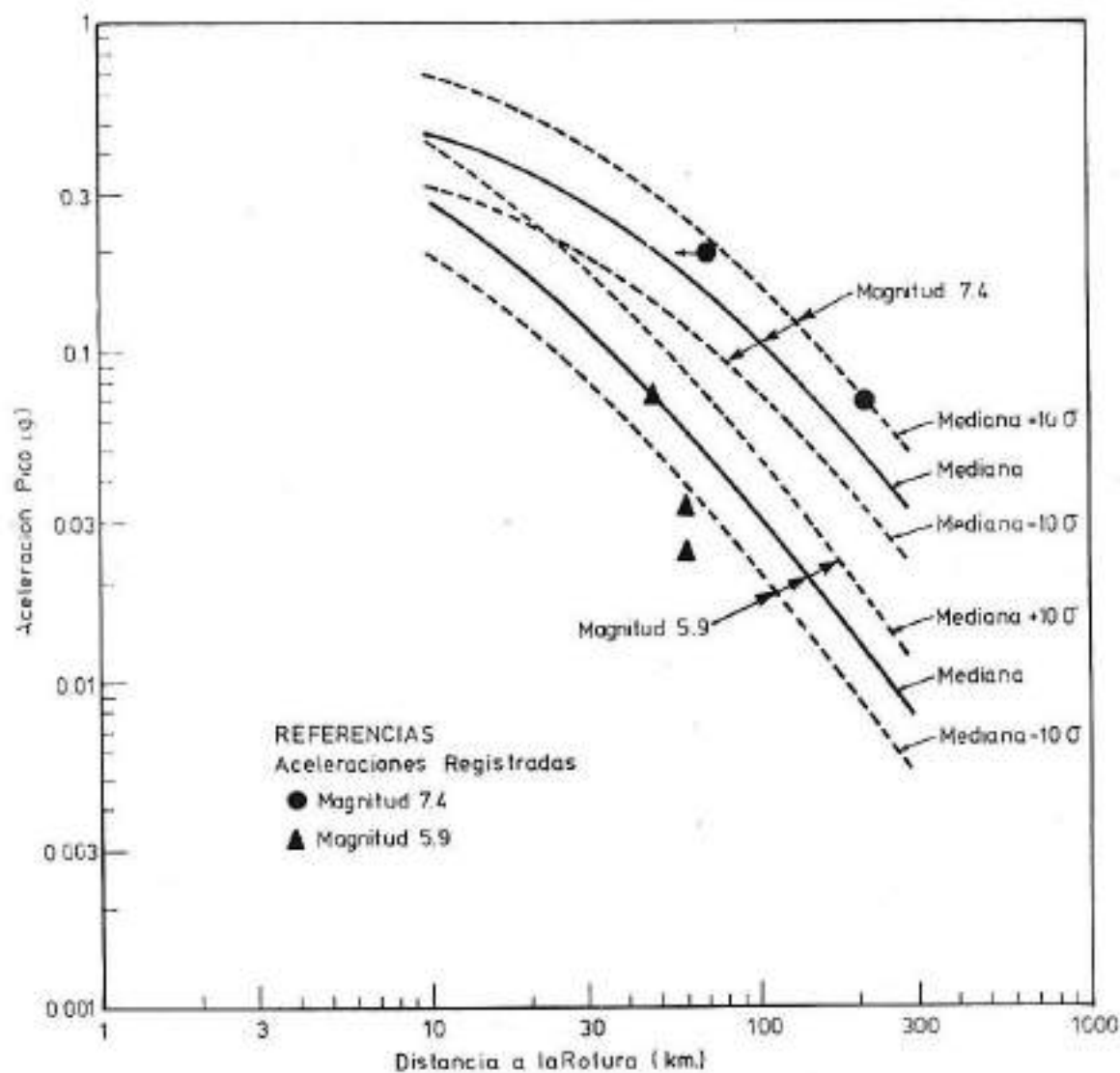
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA

RELACIONES MEDIAS DE ATEJUACION
PARA LA ACELERACION INSTRUMENTAL PICO-
TERREMOTOS SUPERFICIALES
EN SAN JUAN

Figura

5-1

Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES SRL



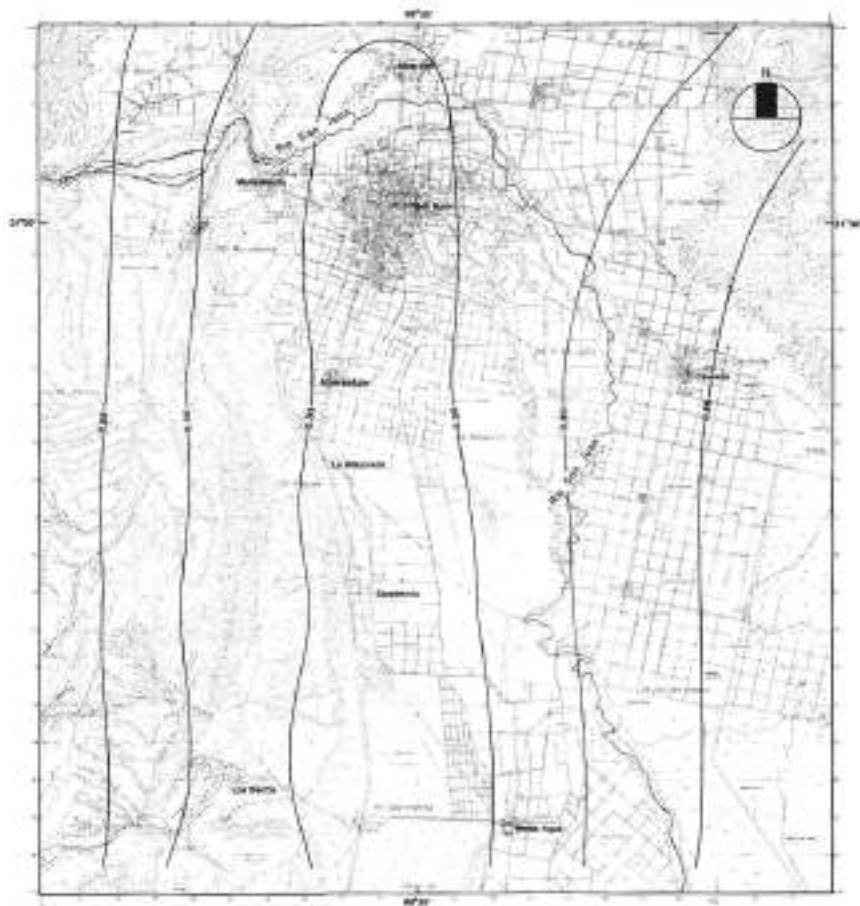
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA


COMPARACION DE LAS RELACIONES DE
ATENUACION CON LAS ACELERACIONES
PICO REGISTRADAS DURANTE EL
TERREMOTO DE 1977

Figura
6-2

Gil-Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES SRL

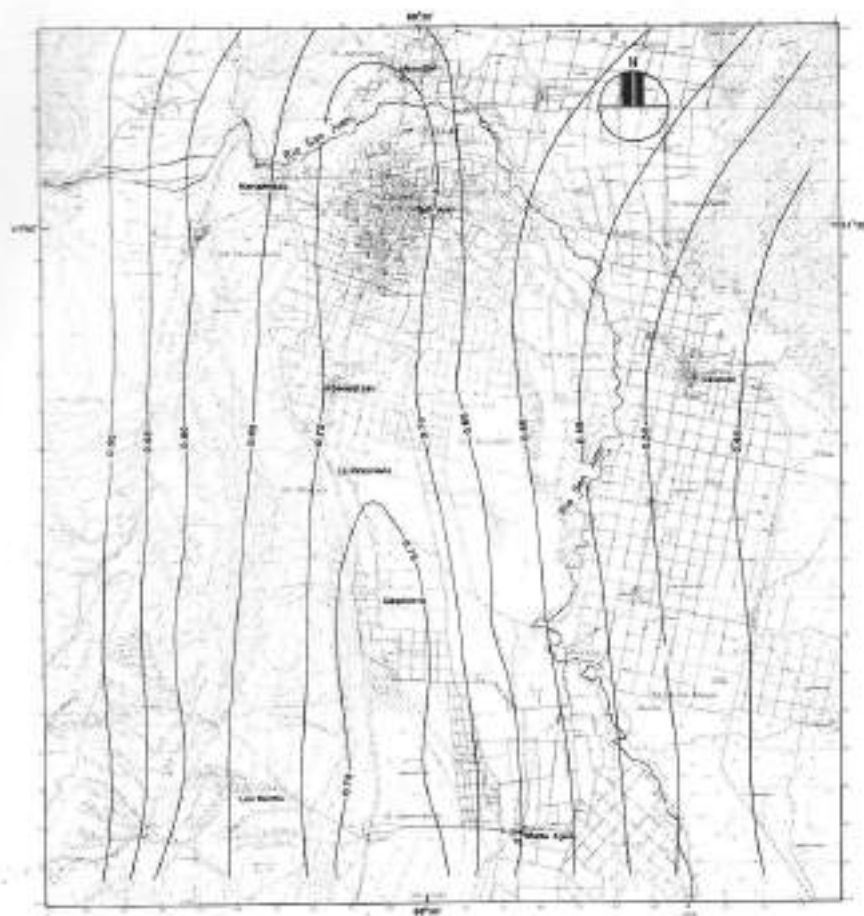


REFERENCIAS

 Curvas de la aceleración instrumental más probable (en unidades g) para un periodo de 50 años.

0 25 50 75 100 125 kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		Figura 6-3
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA	VALLE DE TULUM - MAPA DE EX- POSICION SISMICA: CURVAS DE LAS ACELERACIONES INSTRUMENTALES	
Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.	PIDR HAS PROBABLES EN 50 AÑOS	



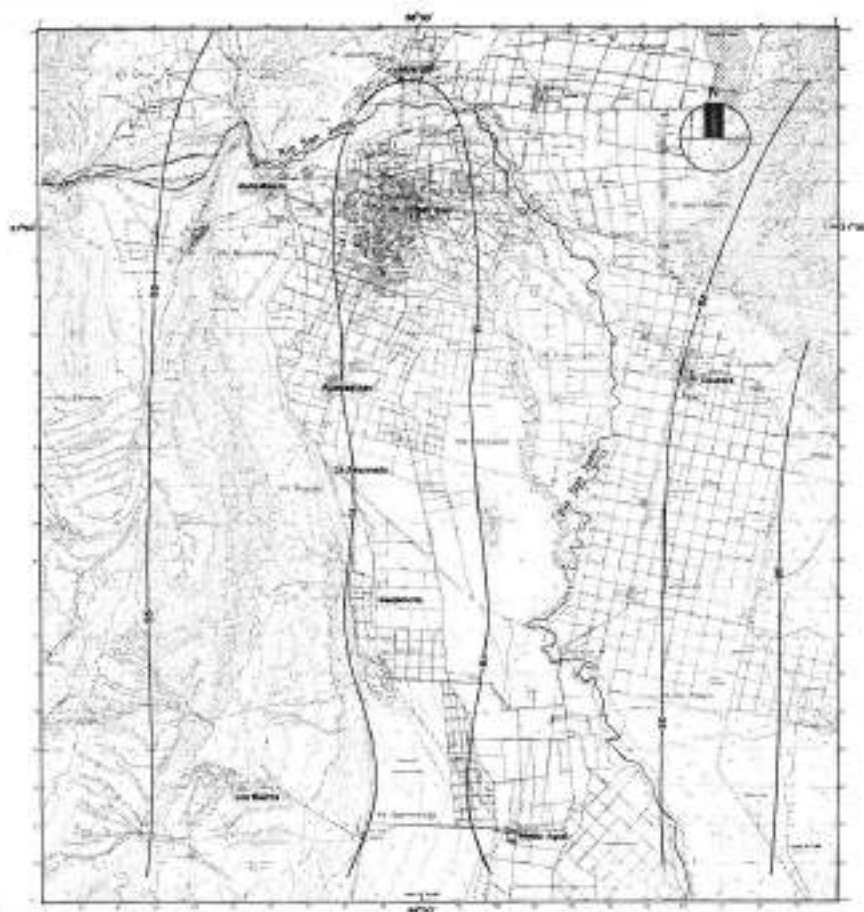
REFERENCIAS



Curvas de la dotación instrumental pico (en unidades g) que tiene una probabilidad de excedencia del 10 % en 50 años.

0 25 50 75 100 125 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		Figura 6-4
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN - REPUBLICA ARGENTINA	VALLE DE TULUM. MAPA DE EXPOSICION SISMICA. CURVAS DE LAS ACELERACIONES INSTRUMENTALES PICO QUE TIENEN UNA PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA DEL 10% EN 50 AÑOS	
Gil-Nata-Zambrido INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		

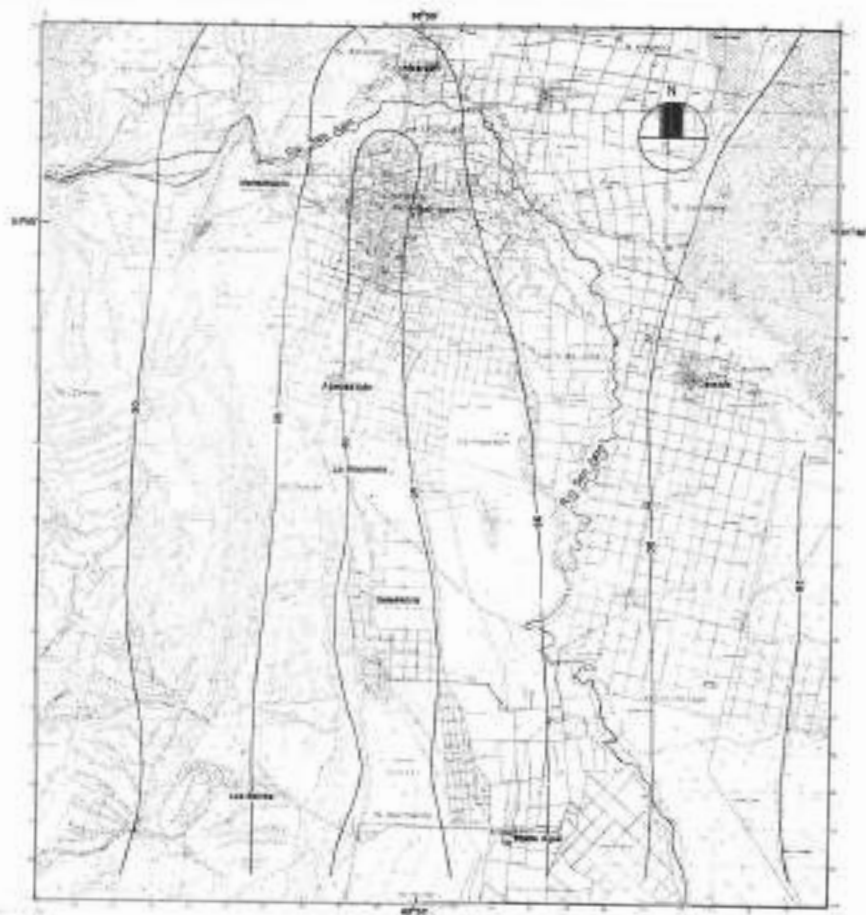


REFERENCIAS

15
 Curvas de periodo de retorno (en años) para una aceleración instrumental pico de 0.2 g

0 25 50 75 100 125 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA	VALLE DE TULUM - MAPA DE EXPOSICION SISMICA: CURVAS DE PERIODO DE RETORNO PARA UNA ACELERACION INSTRUMENTAL PICO DE 0.2 g	Figura 6-5
GM-Nata-Zambrido INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



REFERENCIAS

Curvas de la velocidad instrumental pico más probable (en cm/s) por un período de 50 años.

0 25 50 75 100 125 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		Figura 6-6
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA	VALLE DE TULUM MAPA DE EXPOSICION SISMICA; CURVAS DE LAS VELOCIDADES INSTRUMENTALES PICO MAS PROBABLES EN 50 AÑOS	
Gili-Nafé-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		

7.0. SUELOS Y CONDICIONES DEL SUBSUELO.

7.1. Configuración fisiográfica del Valle de Tulum.

El Valle de Tulum tiene forma alargada midiendo alrededor de 100 km en dirección norte-sur, mientras que su ancho varía entre 5 y 50 km. Limita al este con la Sierra de Pie de Palo y al oeste con la Sierra Chica de Zonda, la Sierra de Villicum y las lomas de Las Tapias y del Salado. El valle consiste en dos unidades fisiográficas: el antiguo cono aluvial del río San Juan al oeste y la llanura o planicie aluvial, más reciente, al este.

Como en el caso de cualquier cono aluvial, el material transportado por el río resulta ser menos grueso a medida que nos alejamos del vértice del cono. Los depósitos pedregalinos a lo largo del borde oeste del Valle de Tulum, consisten en arenas y gravas depositadas por pequeños arroyos temporarios que bajan de la Sierra Chica de Zonda.

La segunda unidad fisiográfica, la llanura aluvial / del río San Juan, consiste principalmente en arenas, limos y arcillas interestratificadas con gravas. Los depósitos ubicados por debajo de esta unidad fisiográfica fueron acumulados por el río tanto a través de su curso actual como del antiguo, al disminuir la pendiente desde el cono aluvial.

El esquema de distribución de la mayoría de los tipos de suelo en la llanura aluvial del río San Juan, en el Valle de Tulum (Figura 7-1) refleja el desplazamiento en forma de meandro del cauce principal del río a través del tiempo. Aunque el suelo del Valle tiene una suave pendiente hacia el sureste o hacia el este (en el extremo norte), el río fluye aproximadamente de norte a sur a través del Valle. A causa de la topografía, durante los períodos de inundación las // aguas pueden esparcirse más fácilmente hacia el este que hacia el oeste. La existencia de dunas de arena en la llanura aluvial oeste del río, sugiere que ese lado no ha sido inundado recientemente y/o tan extensamente como lo ha sido el

lado este.

Fueron observados varios paleocanales pequeños en la superficie de la llanura aluvial del río San Juan. Los paleocanales generalmente no tiene expresión topográfica, sin embargo, son claramente visibles desde el aire ya que la vegetación que los cubre está menos desarrollada y poco saludable. Los pequeños canales parecen ser rasgos de la llanura aluvial, producidos durante períodos de inundación.

Alrededor de 7.600 pozos para la extracción de agua para riego han sido perforados en el Valle de Tulum. La ubicación de un grupo relativamente pequeño (225) cuyos datos fueron usados en este estudio, aparecen en la Figura 7-2. Esas perforaciones varían en profundidad llegando hasta más de 300 metros y en diámetro desde 0 a 25 cm. Los datos de los pozos seleccionados se utilizaron para obtener información sobre:

- Espesor de los sedimentos aluviales sobre las rocas en el valle.
- Distribución y característica de los sedimentos.
- Agua del subsuelo.

7.2. Espesor y distribución de los sedimentos.

Se prepararon las curvas de igual profundidad a roca interpolando la información individual obtenida de los pozos, las que se trazaron con una equidistancia de 50 metros.

Como se esperaba, las superficies rocosas son más empinadas hacia los flancos este y oeste del valle (las pendientes están en el orden del 3%, o sea 300 metros en 10 km) y se aplanan hacia el centro del valle, donde la roca parece estar a aproximadamente 300 metros debajo de la superficie. Este esquema es roto por la presencia de dos cerros aislados

(Barboza y Valdivia), cuyas cimas se elevan casi 800 metros sobre el nivel del mar, o 220 metros sobre la zona circundante.

Las rocas y sedimentos superficiales y cercanos a la superficie existentes en el Valle de Tulum, pueden ser agrupados en cuatro zonas bien definidas, como se resumen a continuación(Figura 7-1).

1. Roca, al este de la Sierra Pie de Palo y al oeste de la Precordillera.
2. Depósitos de cono aluvial del antiguo curso del río San Juan.
3. Depósitos de llanura aluvial del río San Juan.
4. Zona de transición entre los depósitos del antiguo cono aluvial y los de la llanura aluvial.

7.3. Agua subterránea.

En el Valle de Tulum existen acuíferos libres y confinados. Las condiciones del subsuelo al este del río San Juan, son tales que las capas lenticulares impermeables de limo y arcilla son lo suficientemente continuas como para confinar efectivamente un acuífero profundo. Allí, el agua usada para irrigación se infiltra solamente hasta las capas impermeables de material finamente granulado que son casi superficiales, donde permanece como "agua freática colgada" o "falsa freática". Al oeste del río donde existen abanicos aluviales, hay un acuífero libre profundo.

Se ha comprobado que la profundidad del acuífero libre en la zona del cono aluvial al oeste del río, varía entre 10 y 100 metros debajo de la superficie; el nivel del agua freática colgada o falsa freática en el resto del valle es bastante superficial, llegando a casi un(1) metro debajo de

la superficie y aún menos, según la época del año.

7.4. Secciones transversales del subsuelo.

A fin de representar las condiciones generales del subsuelo en el Valle, se prepararon diez secciones o perfiles transversales del Valle de Tulum, usando la información obtenida de las perforaciones para riego. En la Figura 7-2 se presentan dos de los mencionados perfiles, mientras que su ubicación puede verse en la Figura 7-1.

Los departamentos de Chimbás y Capital están ubicados totalmente sobre depósitos de cono aluvial. Santa Lucía está ubicada sobre lo que hemos denominado "zona de transición", y 9 de Julio y Cauçete sobre la zona de depósitos de llanura aluvial. Como se mencionó anteriormente, la transición entre los depósitos de material de grano grueso a los de la secuencia arena-grava-limo-arcilla (debajo de Santa Lucía) no está bien delimitada.

Puede notarse también en la Figura 7-2 el alto nivel del agua freática colgada al este de la zona de abanico. El nivel freático en los depósitos de cono aluvial se encuentra debajo de las profundidades mostradas en la sección transversal.

El perfil 2 se orienta en dirección noreste-sudoeste, atravesando la porción noroeste del valle, cerca del límite este del cono aluvial (Figuras 7-1 y 7-2). Los departamentos de Rawson, Capital y Chimbás están claramente ubicados sobre la zona del cono aluvial. Al noreste y sudoeste de estos departamentos se puede observar la transición a materiales más finos (Figura 7-2). Las condiciones del subsuelo en la zona ubicada más hacia el noreste (Albardón) son similares a las de los depósitos de llanura aluvial ubicados bajo Cauçete (mostrado en el perfil 1).

7.5. Características mecánicas de los depósitos del Valle.

Para este estudio se utilizó la siguiente información existente:

- a) 225 perforaciones para riego
- b) 23 estudios para fundaciones
- c) investigaciones sobre licuefacción en tres localidades.

La información disponible se incrementó luego efectuando quince perforaciones en ocho departamentos. Para ello se utilizó un equipo rotativo montado sobre trailer, y durante los ensayos se inyectó lodo bentonítico.

Los materiales del subsuelo en el Valle de Tulum varían de grava gruesa a arcillas plásticas. Los rangos de variación granulométrica típicos de los diferentes suelos aparecen en la Figura 7-3. La densidad in-situ se estimó en todas las investigaciones arriba mencionadas mediante el ensayo de resistencia a la penetración normal(SPT).

Los ensayos de penetración normal llevados a cabo conjuntamente con estudios de suelo de rutina para fundaciones, son generalmente del tipo "caída libre", tal es lo que acontece en la Provincia de San Juan. No obstante, la mayoría de los datos existentes en la literatura universal para evaluar el potencial de licuefacción de los depósitos de arena, se basan en información obtenida por medio de un método de ensayo algo diferente(dos vueltas de sogá alrededor del torno). Como consecuencia de ello, durante el presente estudio se realizaron investigaciones especiales para comparar los resultados de los dos métodos de ensayo en la zona de San Juan. Se dedicó especial atención a la diferenciación / de los ensayos de acuerdo al método empleado, área de origen, profundidad y tipo de suelo.

En general, los resultados de los ensayos de penetra-

ción(SPT), muestran que la densidad de los suelos granulares que se encuentran en la llanura aluvial varían de sueltos a densos. Las gravas existentes en las zonas del cono aluvial no pueden ser analizadas por medio del ensayo de penetración normal, de modo que para evaluar su densidad son necesarios otros métodos, tales como los ensayos geofísicos. A tal fin se determinaron las velocidades de onda de corte, tanto de los materiales existentes en el cono aluvial como de los de la llanura aluvial, por medio de ensayos geofísicos de campo, en las ubicaciones que aparecen en la Figura 7-1.

A partir de la velocidad de la onda de corte se calculó el módulo del corte. La Figura 7-4 muestra la variación del módulo de corte con la profundidad en tres ubicaciones: Caucete, el cono aluvial y 9 de Julio. En dicha figura también aparecen los módulos de corte calculados para las dos zonas de la llanura aluvial, basados en ensayos de laboratorio previos. La concordancia entre los módulos calculados por medio de estos dos métodos, para Caucete, es bastante manifiesta.

De la información contenida en la Figura 7-4 se pueden derivar otras conclusiones, como ser:

- Los módulos de corte correspondientes a Caucete y 9 de Julio varían en profundidad en forma similar. Es más, a una determinada profundidad, los módulos tienen el mismo orden de magnitud en las dos zonas. Es conveniente señalar que la información de estos dos sitios puede usarse para tipificar los depósitos de llanura aluvial porque aquellos están localizados al este y al oeste del río.
- Los módulos de corte en el cono aluvial son aproximadamente cuatro a cinco veces más grandes que los

de las profundidades correspondientes en la zona de llanura aluvial; esos valores son típicos de los módulos de un depósito granular de denso a muy denso. Los módulos de corte que aparecen en la Figura 7-4c son el promedio de los determinados en las cercanías del INPRES y pueden usarse para representar el módulo de los depósitos de cono aluvial.

- A una profundidad de aproximadamente 40 metros el módulo de corte en el cono aluvial corresponde a // una velocidad de onda de corte del orden de los 700 m/s lo cual es comparable a la velocidad de onda de corte de rocas blandas. Comparativamente, la velocidad de la onda de corte de los depósitos de la llanura aluvial a la misma profundidad, alcanza // aproximadamente 400 m/s.

7.6. Comparación entre los depósitos del cono y de llanura aluvial.

Los resultados obtenidos de los estudios geológicos, geotécnicos y geofísicos, señalan varias diferencias importantes entre los dos tipos de depósitos y la zona de transición ubicada entre ellos.

Estas conclusiones son las siguientes:

Cono aluvial: estos depósitos están constituidos por gravas de granulometría gruesa, de densas a muy densas. En base al estudio de propagación de ondas, puede decirse que a poca profundidad (cerca de los 40 metros) el material se comporta como roca blanda. El nivel freático es bastante profundo en estos depósitos.

Llanura aluvial: Estos depósitos incluyen arenas, limos y arcillas, con algunas capas lenticulares y bolsones de grava. Los depósitos granulares van de sueltos a densos y los materiales finos de blandos a duros. Las velocidades de onda de corte son bastante menores que las velocidades correspondientes en los sedimentos del cono aluvial. El nivel del agua freática colgada se encuentra entre uno y cuatro metros por debajo de la superficie del terreno.

Zona de transición: La transición entre los depósitos de cono a los de planicie aluvial no es abrupta sino gradual, como era de esperar si nos atenemos al proceso geológico que la originó. La composición de este depósito es intermedia entre la del cono y la de la llanura aluvial. Otras propiedades de interés para ingeniería tales como la velocidad de onda de corte y la densidad también son intermedias entre las de los otros dos depósitos.

7.7. Descripción general de los daños causados por el terremoto del 23 de noviembre de 1977.

Tres grandes terremotos produjeron daños considerables en el Valle de Tulum en los últimos 100 años. En 1894 un terremoto causó daños de consideración en las poblaciones ubicadas al norte del valle. El terremoto de 1944, con epicentro cerca de la ciudad de San Juan, destruyó casi totalmente la capital y causó grandes daños a otros centros de población ubicados en el valle. El reciente terremoto de Cauce que se analiza a continuación, ha sido estudiado en

detalle y ofrece una excelente oportunidad para el análisis de esquemas de daños en el valle.

El epicentro del terremoto de Caucete de magnitud(Ms) 7,4 se localizó hacia el noreste del Valle de Tulum, a una distancia de aproximadamente 70 km de la ciudad de San Juan. El terremoto causó muertes y daños materiales en todo el valle. Las curvas isosistas que aparecen en la Figura 7-5 indican que la totalidad del área en estudio soportó intensidades de por lo menos VII de la escala Mercalli Modificada.

Las estructuras construidas de acuerdo al Código de Edificación (que incluye prescripciones sismoresistentes), respondieron bien con algunas pocas excepciones. Varias redes de distribución de agua potable resultaron gravemente dañadas, como así mismo la red de riego y la de drenaje. También resultó muy afectada la red vial, tanto de jurisdicción nacional como provincial, lo mismo que la infraestructura ferroviaria. En las líneas de transmisión de energía eléctrica se produjeron daños que iban desde la rotura y colapso de columnas, al corte de cables y caída de transformadores. Por otra parte resultaron dañadas algo más de 1.000 perforaciones para riego agrícola, algunas en forma irreparable. Los fenómenos de licuefacción abarcaron un área muy extensa, siendo muy comunes en la zona de Caucete.

La información recolectada durante el relevamiento de las construcciones nos muestra que el 41,4% de las casi / 84.000 construcciones existentes en los núcleos urbanos del Valle de Tulum, no cumplen con las prescripciones sismoresistentes del código vigente (39,7% son de adobe y 1,7% de otros tipos). En la Figura 7-5 se han volcado, para cada departamento, el número de construcciones de adobe existentes en los núcleos urbanos a la fecha en que se realizó el mencionado relevamiento. Cuando ocurrió el terremoto, existía por lo menos, esa cantidad de construcciones en los distintos núcleos urbanos.

También se muestran los datos referentes a daños sufridos por las construcciones, que fueron obtenidos de distintas fuentes (INPRES, 1977; Subsecretaría de Agricultura y Ganadería de San Juan, 1977, etc.).

Del análisis de esta figura surge claramente un gran contraste entre los daños que sufrieron las construcciones situadas sobre la llanura aluvial y la zona de transición, con respecto a las ubicadas en la zona del cono aluvial. Esta marcada diferencia en el comportamiento de las estructuras ante el efecto sísmico, da una pauta del efecto que las condiciones del subsuelo pueden tener sobre la respuesta estructural durante los terremotos.

Investigaciones llevadas a cabo en Guatemala después del terremoto de 1976 (Espinosa, 1976), demostraron que los mapas de zonificación preparados en base a los daños sufridos por construcciones de adobe, son similares a los basados en los criterios de daño especificados por la escala / Mercalli Modificada; esto demuestra que limitar la información a las construcciones de adobe no afecta mayormente los resultados referentes a la distribución de daños.

Además de la información proveniente de los estudios arriba mencionados, los registros instrumentales obtenidos mediante sismoscopios y acelerógrafos en la Provincia de San Juan, proporcionan otro modo de establecer diferencias acerca de la respuesta del suelo y de las estructuras en todo el valle. Estos estudios de los registros instrumentales se analizan en la siguiente sección.

7.8. Análisis de los registros instrumentales del terremoto de 1977.

7.8.1. Registros de sismoscopios.

Se consideran aquí las lecturas de trece sismoscopios Wilmot SR 100 (INPRES, 1977). El SR-100 proporciona una indicación de la respuesta de una estructura con un período natural de vibración de 0,7 segundos y una amortiguación estructural de aproximadamente 10 %.

Nueve de los sismoscopios están ubicados en diferentes lugares dentro del Gran San Juan (sobre el cono aluvial), a distancias que varían entre 63 y 71 km del epicentro. La respuesta promedio, doble amplitud, de estos nueve instrumentos en esas ubicaciones, fue de 4,3 cm en dirección este-oeste y 2,6 cm en dirección norte-sur.

Las agujas inscriptoras de los sismoscopios instalados en Caucete (distancia al epicentro 62 km) y en el aeropuerto (departamento 9 de Julio, 64 km del epicentro) se salieron del vidrio de registro, lo cual indica amplitudes de más de 6,0 cm.

En otras localidades, Albardón (60 km del epicentro) y Media Agua (102 km del epicentro), las lecturas del sismoscopio fueron 4,1 cm y 5,1 cm respectivamente. El registro correspondiente a la primera de esas localidades se obtuvo con un instrumento instalado en la Municipalidad, la que está ubicada en la zona de transición, mientras que el sismoscopio instalado en Media Agua se halla sobre terrenos de llanura aluvial.

Por lo tanto, los registros de sismoscopios correspondientes al terremoto principal de noviembre de 1977, confirman ciertamente un patrón de respuestas que varían de bajas a altas, a medida que nos desplazamos de localidades ubicadas sobre el cono aluvial a aquellas situadas sobre la llanura aluvial.

7.8.2. Registros de acelerógrafos.

El terremoto de Caucete del 23 de noviembre de 1977 y las réplicas subsiguientes, fueron registradas en la zona por acelerógrafos para fuertes movimientos. Estos acelerógrafos proveen información adicional que resulta de utilidad para la interpretación de los efectos relacionados con el suelo en el Valle de Tulum.

Se dispone de acelerogramas del terremoto de Caucete registrados con instrumentos ubicados en dos sitios. El primero está en el edificio del INPRES, que registró el evento principal y la réplica del 6 de diciembre de 1977. La estación está ubicada en la ciudad de San Juan, en una zona sobre depósitos de cono aluvial.

Poco después del sismo principal el INPRES instaló un acelerógrafo portátil en el centro de Caucete, a pocas cuerdas del lugar donde se han llevado a cabo investigaciones del subsuelo y mediciones geofísicas durante este estudio. Aquí se registraron dos réplicas (diciembre de 1977 y octubre de 1978). La tabla 7-1 resume la información básica referente a los terremotos y a los registros de estas dos estaciones.

Los espectros de respuesta de aceleración (promedio de las dos componentes horizontales) correspondientes a los sismos de noviembre y diciembre de 1977 se presentan en las Figuras 7-6 y 7-7. Los acelerogramas originales y los espectros fueron proporcionados por el INPRES.

Los espectros de los movimientos registrados en la estación del INPRES muestran un período natural de vibración cercano a los 0,25 segundos para ese sitio, mientras que los registrados en la estación de Caucete muestran una significativa amplificación para los períodos cercanos a 0,6 segundos. Otros picos corresponden a las frecuencias predominantes de los acelerogramas y a modos superiores de vibración. La Figura 7-7 también muestra que las aceleraciones

registradas simultáneamente en los dos sitios son muy diferentes. Estas diferencias reflejan las distintas distancias epicentrales de los dos sitios y las diferentes condiciones del subsuelo. La contribución relativa de los dos factores (distancia y suelos) será evaluada más adelante en este Informe.

Los espectros de las Figuras 7-6 y 7-7 se normalizaron con respecto a las aceleraciones correspondientes al período cero, a fin de compararlas con las formas espectrales generales. Se comparó la forma espectral promedio correspondiente al terremoto de magnitud (Ms) 7,4 registrado en el INPRES, con las curvas medias para suelo duros y para suelos no cohesivos profundos, ajustados para una magnitud de 7-1/2. Igual comparación se hizo con la réplica de magnitud (Ms) 5,9 registrada en el INPRES. Dichas comparaciones indican que la respuesta del sitio donde se localiza el INPRES es típica de los lugares con suelos duros, con un período predominante de aproximadamente 0,25 segundos.

Similar comparación se efectuó con la forma espectral promedio correspondiente a la réplica de magnitud (Ms) 5,9 registrada en Cauce y las curvas medias para sitios con suelos duros, no cohesivos profundos y blandos. De igual forma se procedió para la réplica de (Ms) 4,3. Estas comparaciones indican que la respuesta del terreno de Cauce es típica de los suelos profundos. Puede observarse que existe una marcada amplificación en correspondencia con el período 0,6 segundos y que las formas espectrales son generalmente más extendidas que aquellas correspondientes a los registros obtenidos en el INPRES.

Debe tenerse en cuenta que los espectros analizados, tanto los correspondientes al INPRES como a Cauce, se obtuvieron a partir de registros de terremotos superficiales. Los terremotos profundos tales como los generados en la zona de subducción, originan amplificaciones de la aceleración

espectral distintas a las producidas por los terremotos de corteza.

7.8.3. Cálculos analíticos de la respuesta del terreno.

Los registros obtenidos en la sede del INPRES y en / Cauce indican que el movimiento del terreno originado por los terremotos se amplifica en forma diferente en las distintas localidades dentro del Valle de Tulum. Es posible de terminar algunas de las razones que originan tales diferencias mediante el uso de ciertas técnicas analíticas disponibles para estimar los movimientos del terreno inducidos por los terremotos en los distintos tipos de suelos.

Para tal fin resultan adecuadas las técnicas de propagación de ondas de corte unidimensionales para depósitos con límites horizontales. Una de estas técnicas está representada por la solución de la ecuación que rige la propagación de la onda de corte unidimensional en un medio continuo y semi-infinito. La ecuación se resuelve mediante el empleo de un programa de computación (SHAKE) que tiene en cuenta propiedades de tensión-deformación no lineales de los suelos.

Para efectuar dicho análisis seleccionamos cinco perfiles típicos representativos de las condiciones del subsuelo que pueden encontrarse en varias localidades en la planicie aluvial del río San Juan. Esos perfiles aparecen esquemáticamente en la parte (a) de la Figura 7-8. El modelo esquemático presentado en la parte (b) de esa figura indica el enfoque seguido. El movimiento de entrada, en este caso el acelerograma registrado en la sede del INPRES fue deconvolucionado desde la superficie del terreno hasta la roca, a través de las arenas y gravas densas del cono aluvial. El "movimiento deconvolucionado" en la roca se transmite luego hacia arriba, a través de los depósitos de la planicie aluvial, pasando por cada uno de los cinco perfiles "típi-

cos" seleccionados.

Para evaluar mejor las incertidumbres vinculadas con estos análisis, realizamos los cálculos haciendo variar las propiedades dinámicas básicas del suelo que influyen los resultados, dentro de los amplios rangos que aparecen en la parte (c) de la Figura 7-8.

Los resultados analíticos demuestran que el movimiento de entrada, que tiene una amplitud máxima de 0,19 g. en la sede del INPRES, resulta amplificado por los depósitos de llanura aluvial por factores que van de 1,5 a 2,5. Además las curvas espectrales normalizadas con respecto a la aceleración correspondiente al período cero (Figura 7-9) muestran claramente un período del lugar cercano a los 0,6 segundos, que concuerda con el período observado en el movimiento real registrado en Cauçete.

7.8.4. La réplica del 6 de diciembre de 1977.

Esta réplica, de magnitud 5,9 fue registrada en el INPRES (a 61 km del epicentro) y en Cauçete (a 49 km del epicentro). Usando las relaciones de atenuación de la amplitud con la distancia que determinamos para la zona, es posible modificar los registros obtenidos en la sede del INPRES, de tal manera que sean similares a los esperados en una zona / de condiciones de subsuelo idénticas, pero ubicada a una / distancia de sólo 49 km del epicentro. En la Figura 7-7 se presentan los resultados de tal modificación. A los efectos prácticos, podemos asumir que las diferencias que se observan en los dos espectros mostrados en esa figura son causados solamente por las condiciones del subsuelo. Los efectos de la trayectoria de propagación son probablemente pequeños porque ambas estaciones de registro están en la misma dirección de propagación desde la fuente de energía.

En correspondencia con el período cero, la aceleración

registrada en Cauce, es 1,75 veces mayor que la registrada en el INPRES. Las relaciones de amplificación para otros períodos varían entre 1,5 y 2, produciéndose las mayores diferencias en los períodos cercanos a 0,6 segundos. Estos resultados concuerdan con los del cálculo de respuesta del terreno e indican que en la llanura aluvial se pueden producir movimientos significativamente mayores que en el cono aluvial, especialmente para períodos mayores que 0,4 segundos. Por lo tanto, la respuesta de un determinado tipo de estructura depende en gran medida de su ubicación en el Valle.

7.9. Efectos del terremoto en las estructuras de bajo período.

Uno de los objetivos de la presente investigación fue evaluar las características sismoresistentes de las estructuras existentes (1981) en los núcleos urbanos ubicados en el área bajo estudio. Las investigaciones llevadas a cabo durante este estudio demostraron que de 83.683 edificios, 80.189 (96%) eran de un solo piso y 3.494 (4%) de dos o más pisos.

El INPRES realizó la medición del período fundamental de vibración de diversos edificios de la zona, antes y después del terremoto del 23 de noviembre de 1977.

En la Figura 7-10 se han volcado los resultados de / esos estudios, graficando el período fundamental de vibración T en función del número de pisos n . Posteriormente se ajustaron estadísticamente esos datos, obteniéndose dos rectas que relacionan el período con el número de pisos para las construcciones típicas de esta zona. En base a esos datos, puede decirse que el período natural de vibración de / la mayoría de las construcciones existentes en el Valle de Tulum, es menor que 0,2 a 0,3 segundos.

Las curvas espectrales que aparecen en la Figura 7-7

indican que para este bajo período, las estructuras ubicadas en la llanura aluvial, estuvieron sujetas durante el terremoto de Cauçete a fuerzas sísmicas aproximadamente 90% mayores que las que debieron soportar las mismas estructuras ubicadas sobre el cono aluvial. Esta diferencia puede explicarse porque las construcciones de adobe, a pesar de sus características resistentes tan pobres, se comportaron bien en la ciudad de San Juan y otros núcleos situados sobre el cono aluvial y tan pobremente en Cauçete y otras zonas ubicadas sobre la llanura aluvial.

7.10. Espectros de diseño propuestos.

Utilizando los resultados del análisis de los movimientos registrados, se confeccionaron formas espectrales / para diseño elástico, de aplicación para el Valle de Tulúm. Para desarrollar dichas formas espectrales se tuvo en cuenta el criterio sustentado en el Proyecto del Reglamento 103-IMPRES-CIRSOC(1982) en lo referente al valor de la ordenada del plafón (amplificación igual a 3), además de los resultados del trabajo de A. Giuliano y otros (1982) en lo relacionado con los requerimientos de ductilidad.

En la Figura 7-11 se presentan las dos curvas propuestas. Como puede verse ambas curvas varían a partir del fin del plafón, en forma inversamente proporcional al período. La curva propuesta para el cono aluvial es similar a la que A.T.C. adopta para suelos duros, difiriendo principalmente en el valor asignado a la ordenada del plafón. La curva sugerida para los suelos de llanura aluvial, corresponde en cierto modo a la que A.T.C. asigna a los depósitos de suelos estables, de características intermedias, con espesor de manto profundo y concuerda con los períodos más altos observados en los registros obtenidos en Cauçete.

Estas formas espectrales de diseño se deben vincular

(o escalar) a una aceleración pico de diseño, que es algo menor que las aceleraciones instrumentales máximas que figuran en los mapas de exposición sísmica presentados en Capítulo 6. Como los niveles de exposición en el Valle de Tulum resultan de la ocurrencia de terremotos superficiales cercanos, los movimientos del terreno resultantes deberían contener componentes de alta frecuencia, las que tienen poca importancia para las estructuras comunes en ingeniería. Por lo tanto se sugiere utilizar una aceleración pico de diseño o aceleración efectiva, igual al 70% de las aceleraciones instrumentales máximas (Sección 12.4) que figuran en los mapas de exposición sísmica, a fin de escalar las curvas espectrales de diseño que se presentan en la Figura 7-4.

7.11. Falla del terreno por licuefacción.

El daño producido en las construcciones al que nos hemos referido anteriormente, se debió al movimiento del terreno y fue independiente del daño causado por la falla del mismo. En algunos casos el daño estructural resultó incrementado a causa de fallas de fundación. La mayor parte de las fallas del terreno ocurridas en el Valle de Tulum durante el terremoto de Cauce de 1977, están relacionadas con la licuefacción. También se produjo licuefacción en varias zonas del valle durante el terremoto de 1894, lo que se encuentra documentado en un informe de Castano (1981). Por lo tanto, puede afirmarse que la licuefacción constituye un peligro sísmico importante en el área bajo estudio.

En la Figura 7-12 se han graficado las evidencias históricas de licuefacción producida por terremotos en el Valle de Tulum. El mapa muestra que dentro de la zona en estudio prácticamente toda la llanura aluvial, ubicada al este y al norte del río San Juan ha experimentado licuefacción en mayor o menor grado durante el terremoto de 1894 y/o el

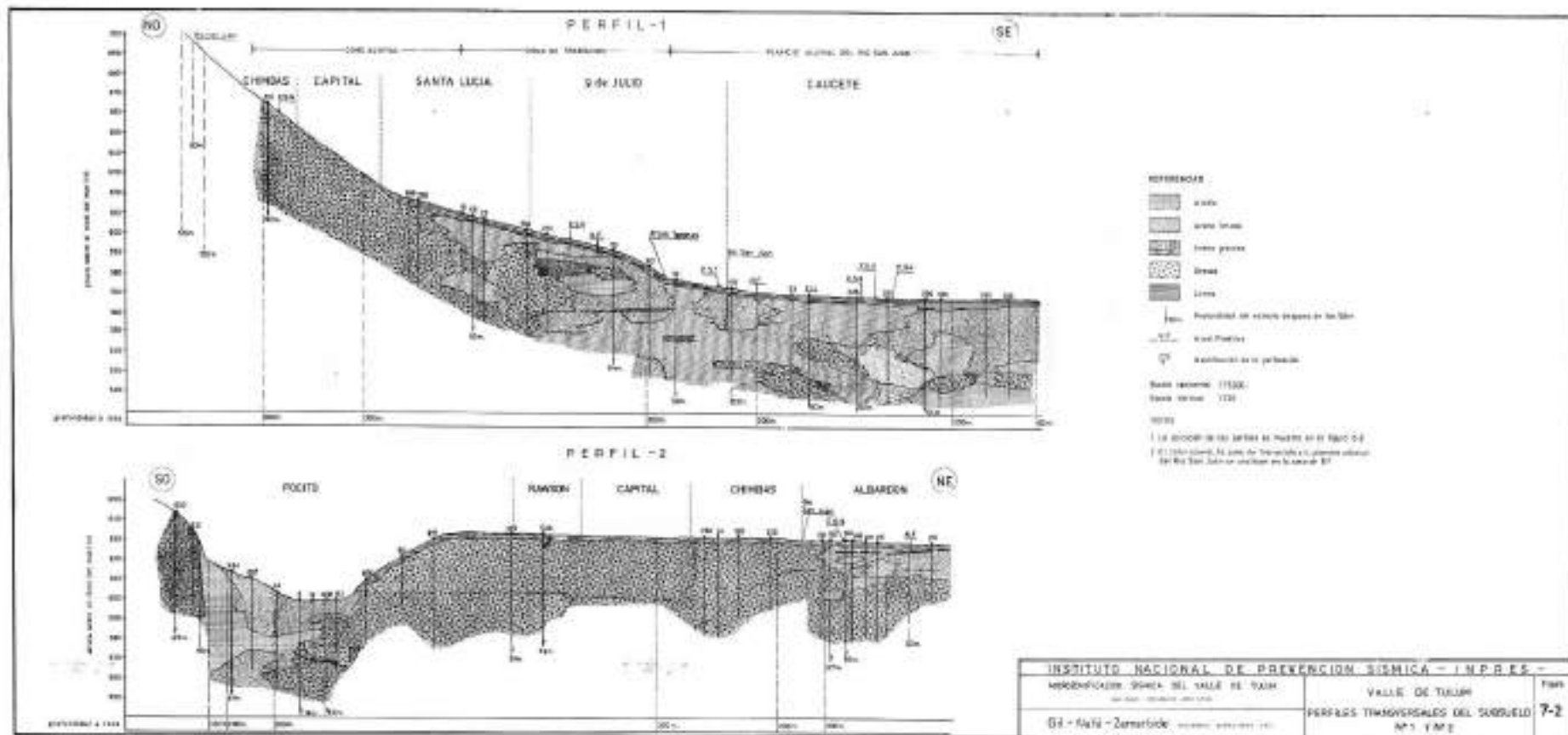
terremoto de 1977. De este modo, la exposición a la falla del terreno por licuefacción es de real importancia en el valle, tema que se trata en el Capítulo 8.

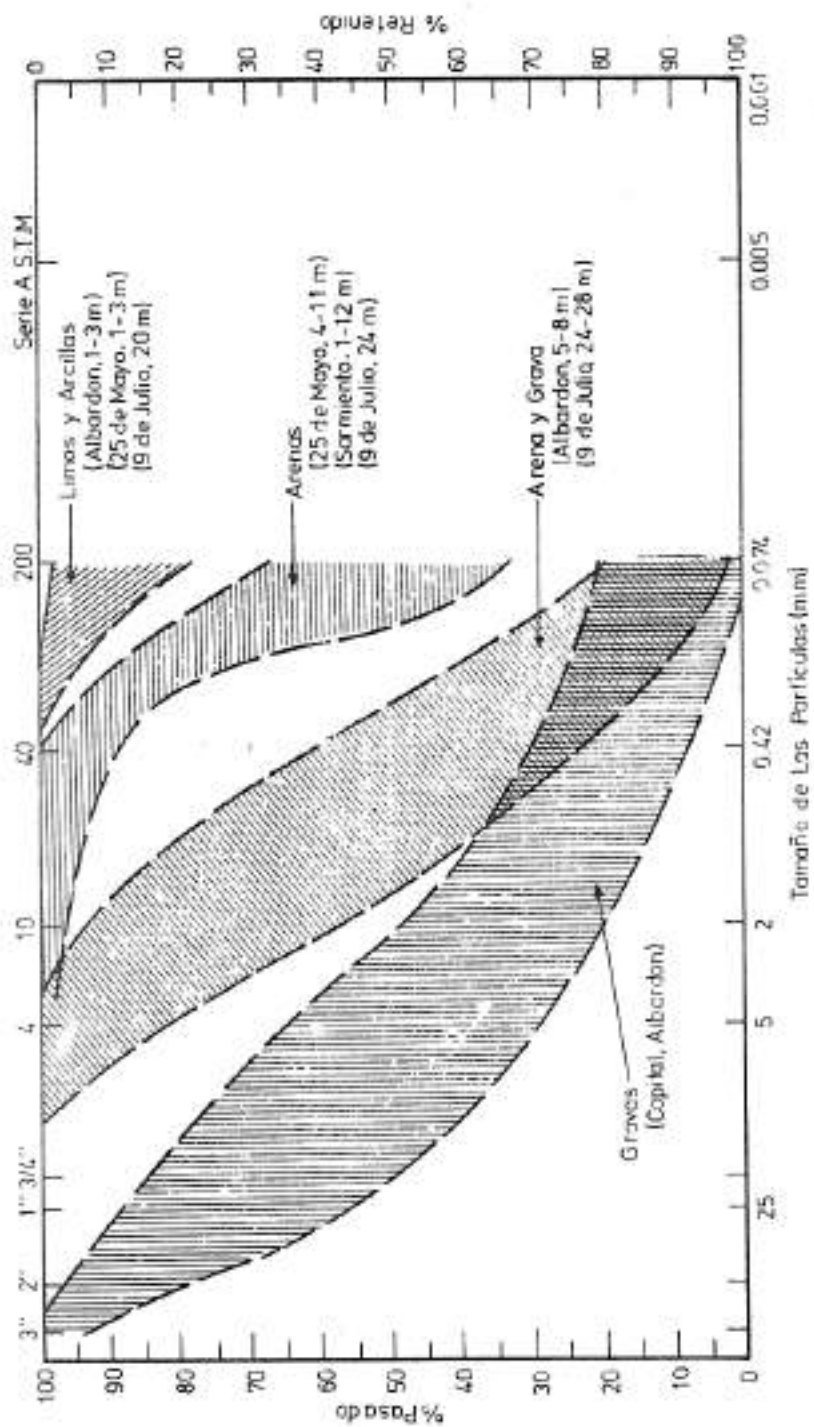
TABLA 7-1

REGISTRO DE FUERTES MOVIMIENTOS

SAN JUAN, ARGENTINA

Fecha	Estación	Ms	Distancia (km)	Aceleración máxima (porcentaje de g)		Período del lugar (segundos)
				Long.	Transv.	
23/11/1977	INPRES	7,4	70	19	19	0,25
06/12/1977	INPRES	5,9	61	3	2	0,25
06/12/1977	Caucete	5,9	49	7	7	0,60
24/11/1978	Caucete	4,3	-	3	2	0,60





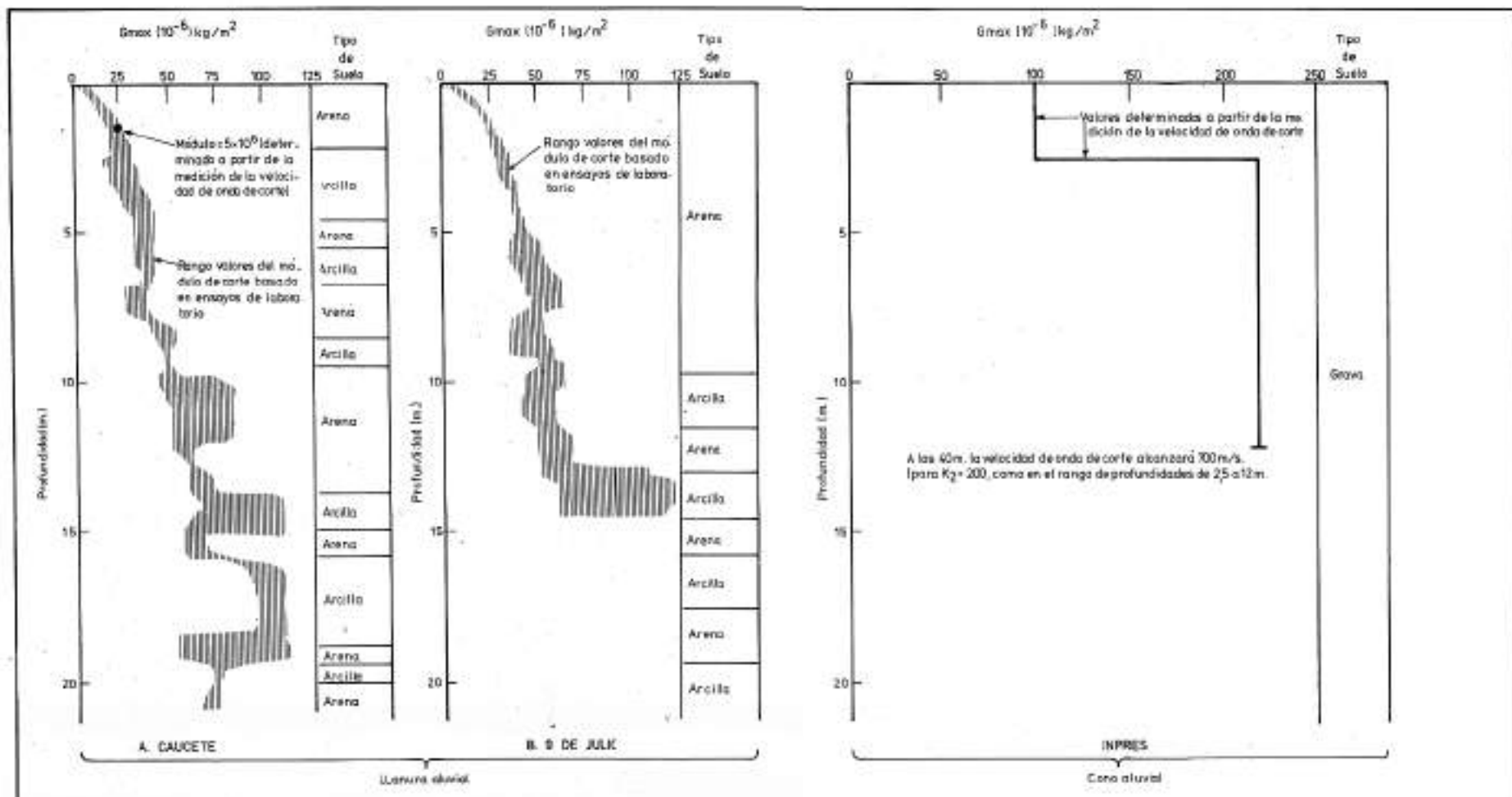
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN - REPUBLICA ARGENTINA

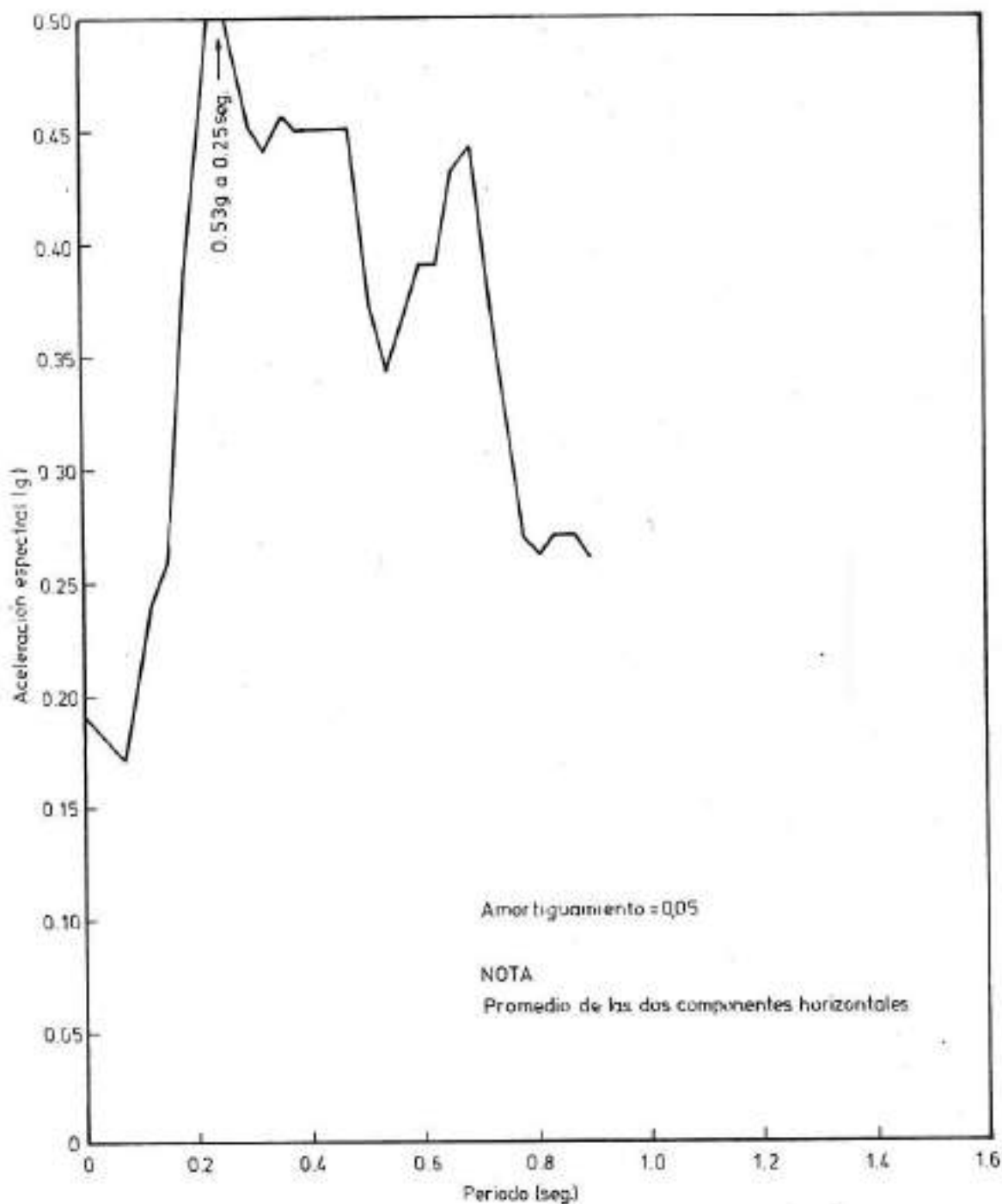
VALLE DE TULUM, RANGOS
GRANULOMETRICOS PARA
MATERIALES TÍPICOS

Figura
7-3

Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACIÓN SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPÚBLICA ARGENTINA	COMPARACION DE LA VARIACION DEL MODULO DE CORTE CON LA PROFUNDEAD EN EL CONO EN LA LLANURA ALUVIAL	Figura 7-4
GHI-Nata-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



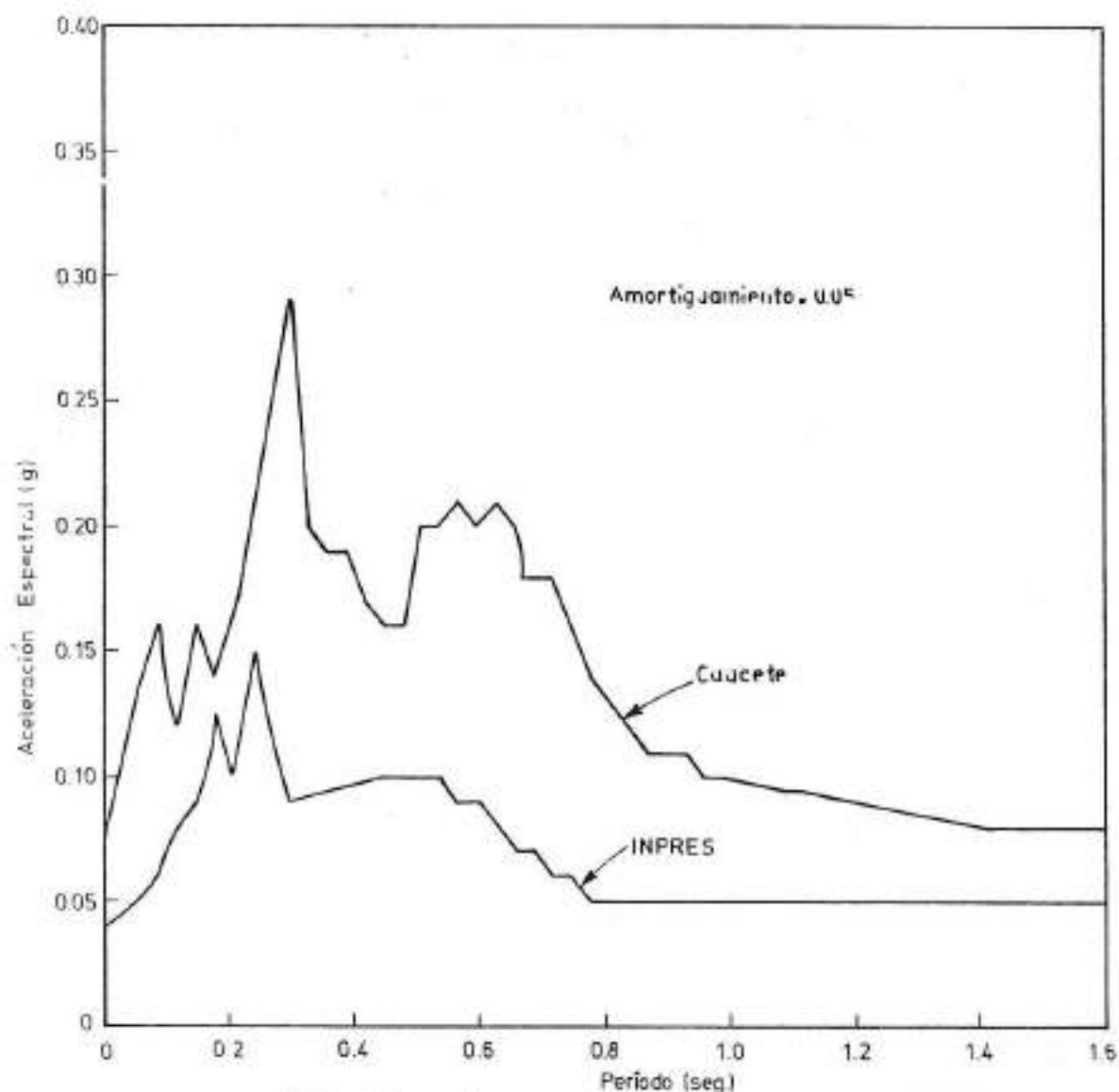
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA

ESPECTRO DE RESPUESTA DEL TERREMOTO
DEL 23 DE NOVIEMBRE DE 1977
ISE DE INPRES I

Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

Figura
7-6



NOTA El espectro correspondiente a la sede del INPRES se multiplicó por la relación:

$$\frac{\text{Aceleración a 49 km. (T=0)}}{\text{Aceleración a 61 km. (T=0)}} = 1,43$$

para tener en cuenta las distintas distancias epicentrales

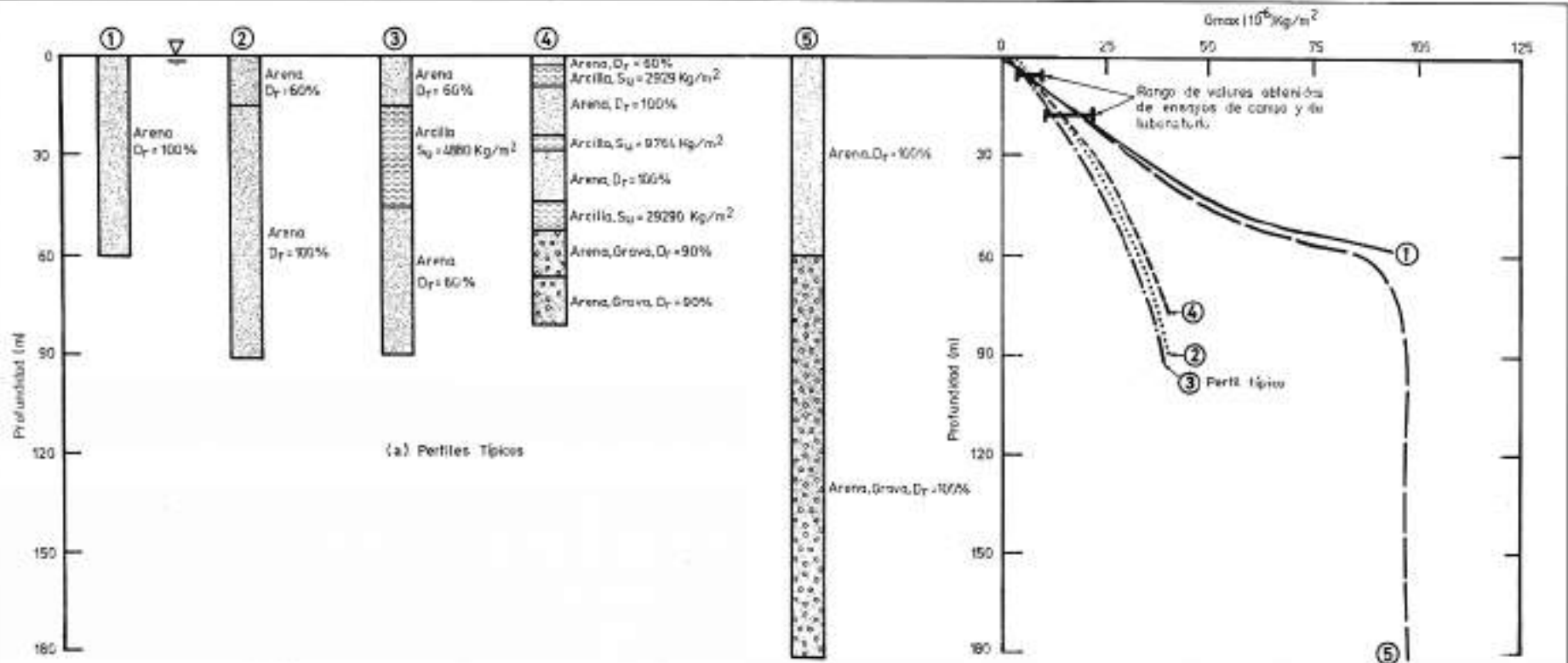
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACIÓN SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA

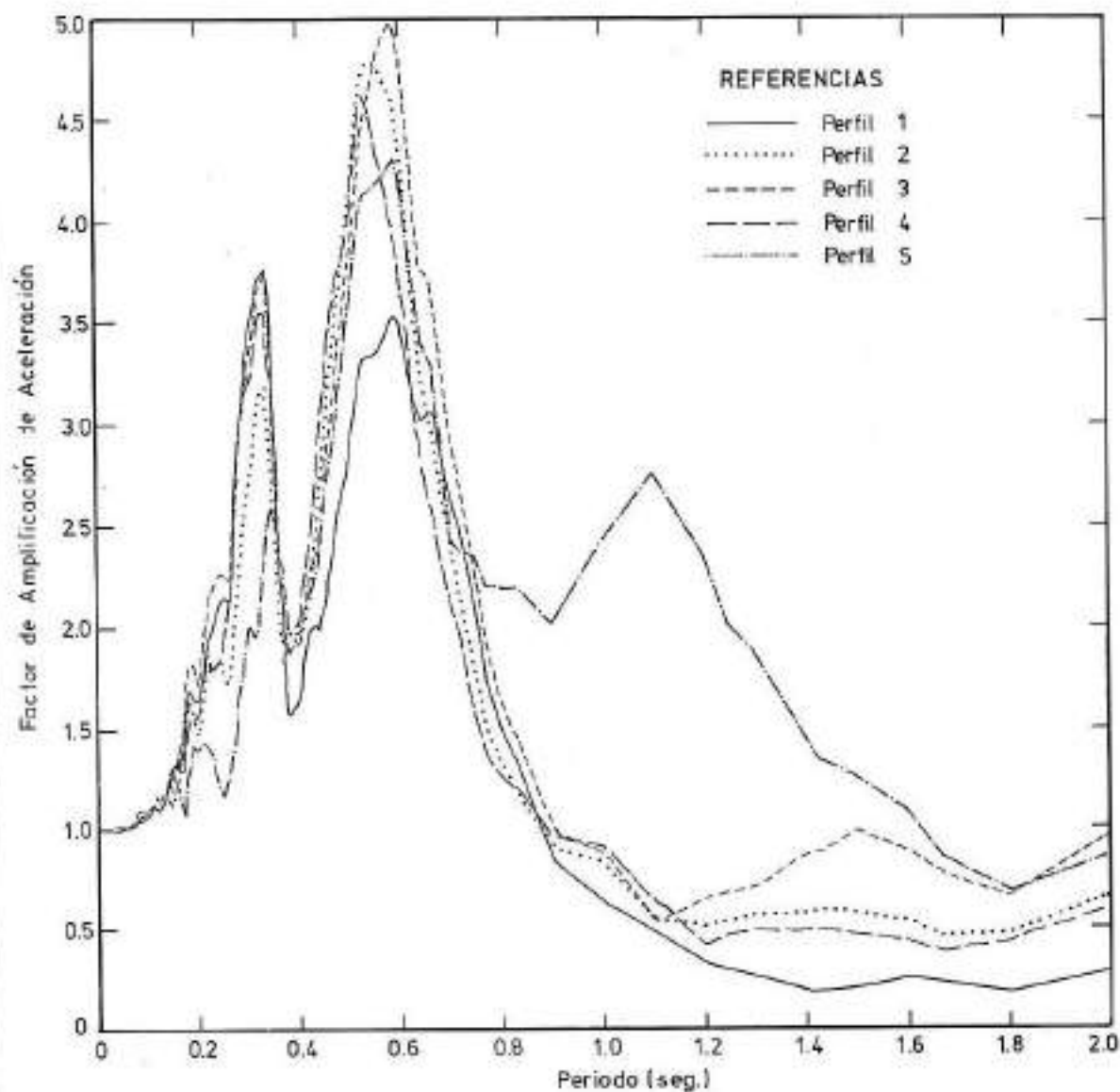
REPUCA DEL 6 DE DICIEMBRE DE 1977;
ESPECTROS NORMALIZADOS PARA UNA
MISMA DISTANCIA EPICENTRAL

Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L

Figura
7-7



(b) Modelo esquemático para el cálculo de la respuesta del terreno



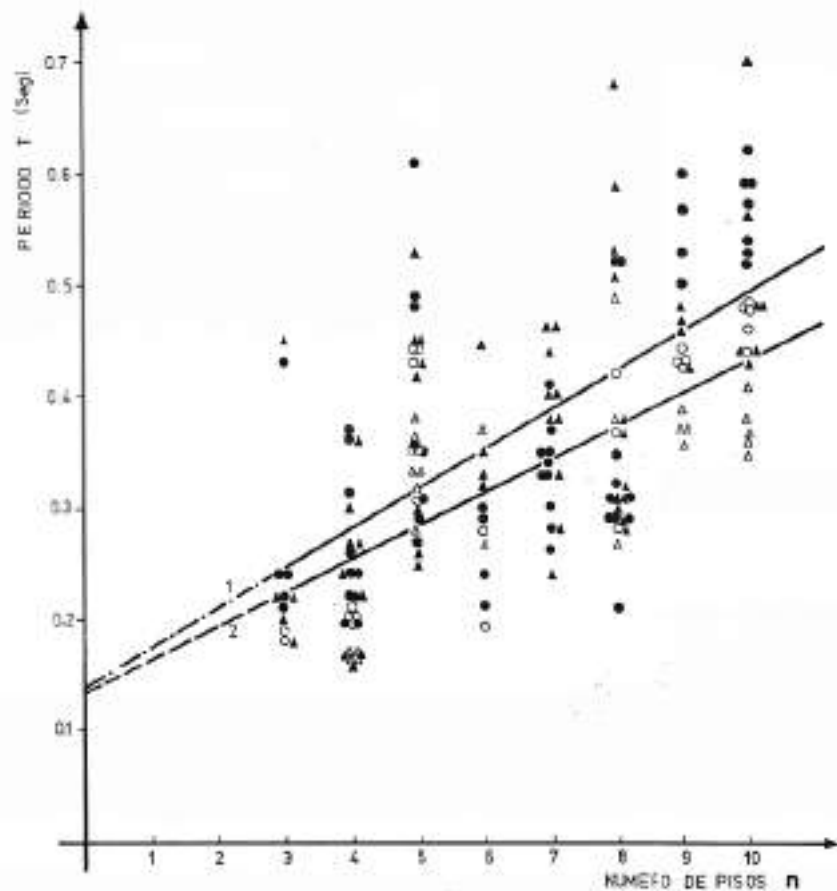
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN - REPUBLICA ARGENTINA

ESPECTROS DE RESPUESTA TEORICOS
PARA SITIOS TYPICOS DE LLANURA
ALUVIAL

Gil-Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L

Figura
7-9



REFERENCIAS

- Dirección aprox. N-S } antes del 23-XI-77
- △ Dirección aprox. E-O }
- Dirección aprox. N-S } después del 23-XI-77
- ▲ Dirección aprox. E-O }

1. $T = 0.366 + 0.0356 (n-6.45) (\text{Seg})$ después del 23-XI-77

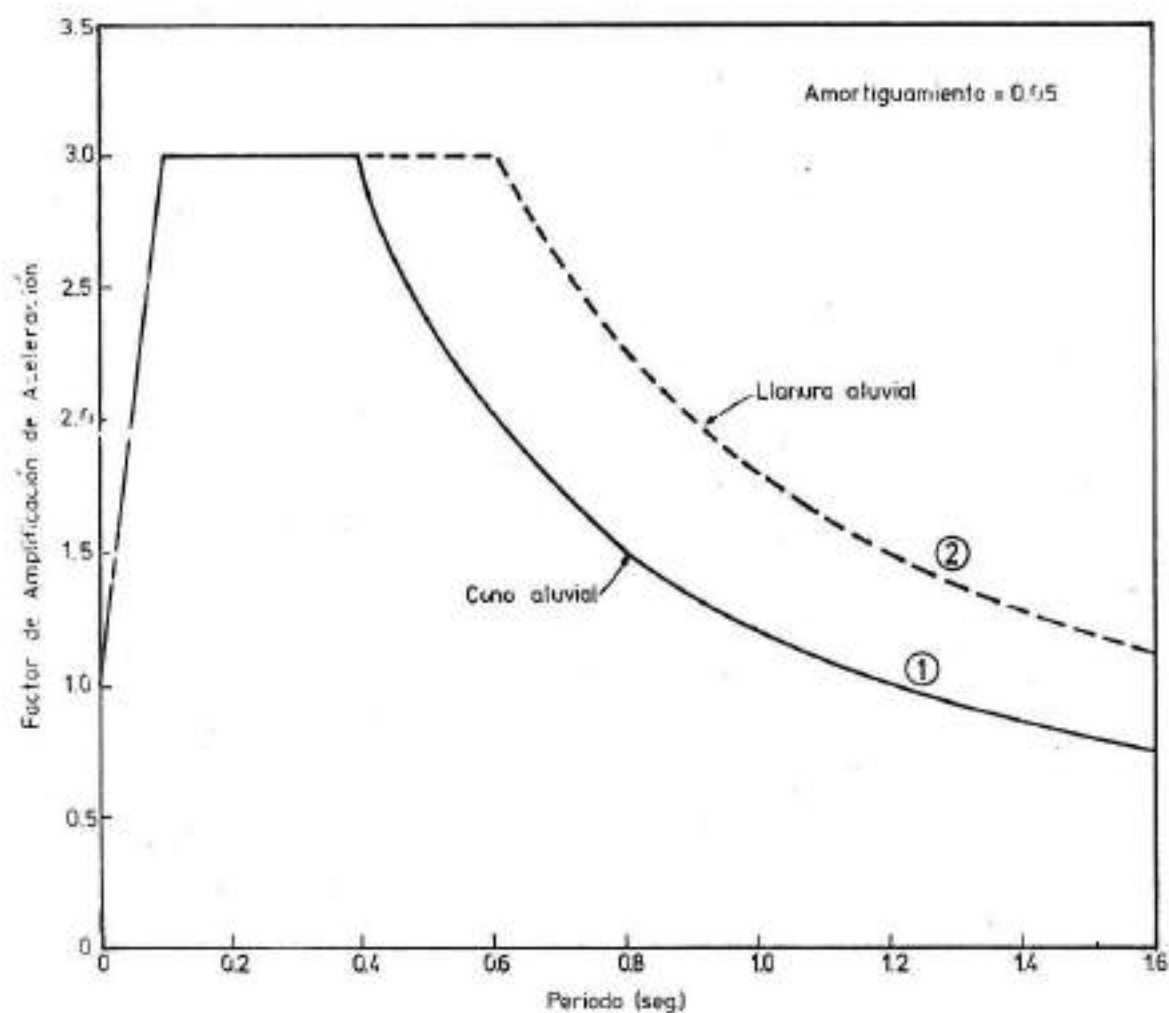
2. $T = 0.333 + 0.0363 (n-6.68) (\text{Seg})$ antes del 23-XI-77

NOTA

1. Las líneas se indican con trazos donde se extrapoló por no disponer de datos

VARIACION DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACION CON EL NUMERO DE PISOS DE LA CONSTRUCCION

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -	
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA	
Gil-Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.A.S.	PERIODO DE VIBRACION DE EDIFICIOS TIPO
	Figura 7-10



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

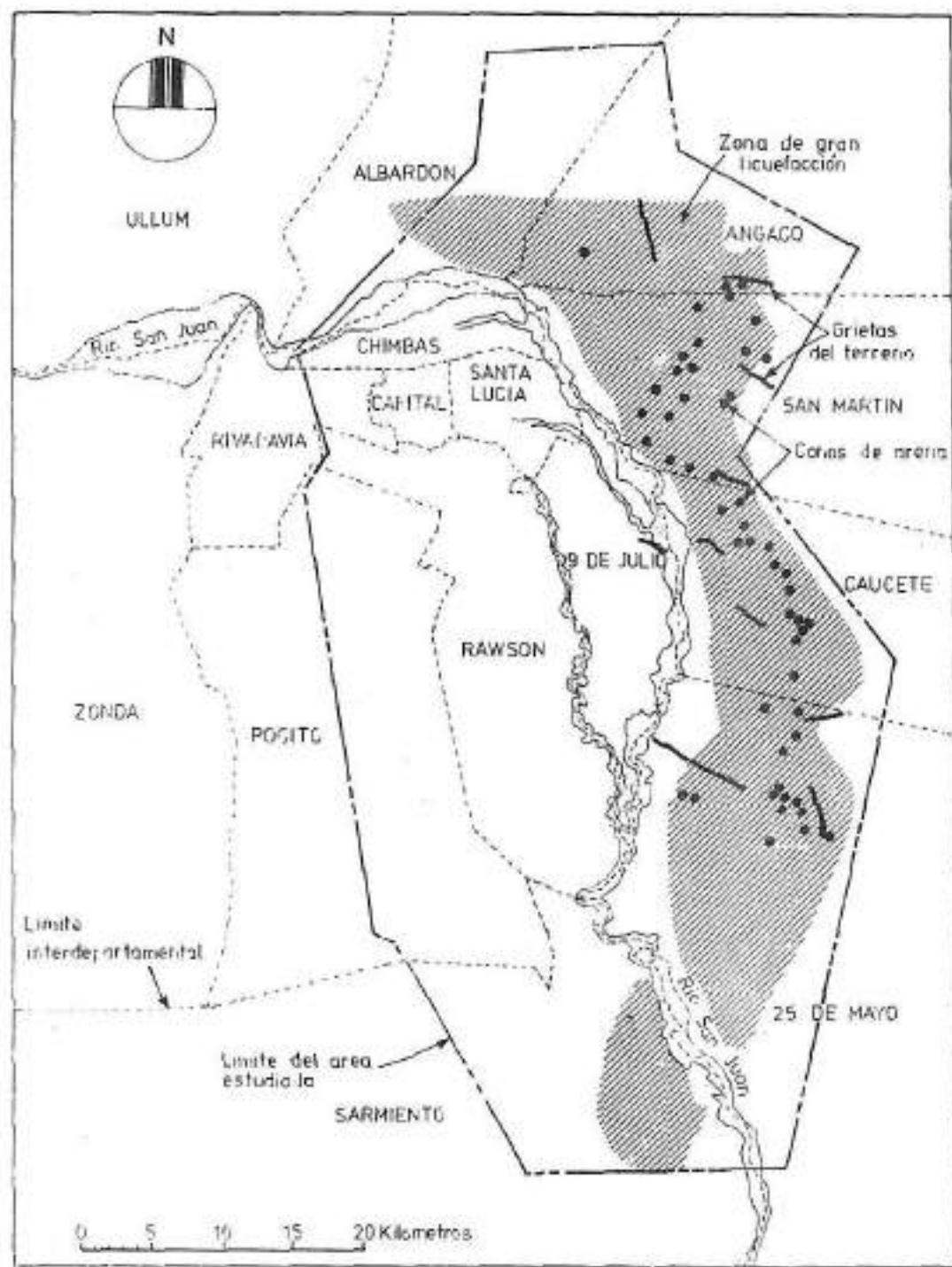
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA

FORMAS ESPECTRALES PARA
DISEÑO RECOMENDADAS PARA
EL VALLE DE TULUM

Figura

7-11

Gil-Nafa-Zamabide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA

VALLE DE TULUM: ZONA CON
GRAN LICUEFACCION DURANTE
TERREMOTOS PREVIOS

Figura
7-12

Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

8.0. EVALUACION DEL PELIGRO SISMICO.

8.1. Evaluación probabilística del peligro de licuefacción sísmica.

El análisis de exposición sísmica que se presenta en el Capítulo 6 provee las probabilidades de excedencia de distintos niveles del movimiento del terreno en la provincia de San Juan. Estos resultados se pueden combinar con los efectos provocados por los movimientos sísmicos en los distintos suelos para evaluar los peligros sísmicos. En esta sección se describe la evaluación del peligro de licuefacción sísmica en el Valle del Tulum.

8.1.1. Enfoque.

Extendiendo el razonamiento expuesto en el Capítulo 6 la ocurrencia de licuefacción en un sitio puede ser considerada como un proceso de Poisson si: (1) la ocurrencia de movimientos sísmicos es un proceso de Poisson y (2) la probabilidad de que cualquier evento pueda originar licuefacción, es independiente de la ocurrencia de otros eventos. La probabilidad de que se produzca por lo menos un caso de licuefacción en un periodo de tiempo t , está dada por:

$$p(L / t) = 1 - e^{-\lambda_L \cdot t} \quad (8-1)$$

donde λ_L es el número medio anual de eventos que causan licuefacción. El potencial para la ocurrencia de licuefacción se calculó usando los procedimientos desarrollados por Seed e Idriss(1970,1981).

Tensiones inducidas por los movimientos sísmicos.

Un parámetro conveniente para expresar las características cíclicas de la licuefacción de la arena es la relación de tensiones cíclica(CSR) que es el cociente entre la tensión

de corte promedio desarrollada sobre una superficie horizontal durante un proceso de sollicitación sísmica y la tensión vertical efectiva.

La relación de tensiones cíclica a cualquier profundidad, d , puede ser calculada por la relación siguiente (Sedgwick e Idriss, 1970):

$$CSR(a_{m\acute{a}x}) = \frac{\tau_{av}}{\sigma_{v'}} = 0,65 \cdot \frac{a_{m\acute{a}x}}{g} \cdot \frac{\tau_v}{\sigma_{v'}} \cdot r_d \quad (8-2)$$

donde $a_{m\acute{a}x}$ es la aceleración pico del terreno, σ_v es la tensión total debida al peso del estrato de suelo a la profundidad d , $\sigma_{v'}$ es la tensión vertical efectiva y r_d es un factor de reducción de esfuerzos que varía desde el valor 1 en la superficie del terreno a un valor 0,9 a una profundidad de 10 metros.

La tensión total debida al peso del estrato de suelo a una profundidad d , está dada por:

$$\sigma_v = \gamma \cdot d \quad (8-3)$$

donde: γ es el peso específico del suelo

La tensión vertical efectiva a la profundidad d , está dado por:

$$\sigma_{v'} = \sigma_v - \gamma_w (d - d_w) \quad (8-4)$$

donde γ_w es el peso específico del agua y d_w es la profundidad de la napa freática.

Esfuerzos requeridos para originar licuefacción.

Seed e Idriss(1981) han reunido un gran conjunto de / datos que correlacionan la ocurrencia o la no ocurrencia de licuefacción en depósitos de arena durante los movimientos sísmicos, con la Resistencia a la Penetración Estandard de dichos depósitos. Esta información se presenta en la Figura 8-1. La resistencia a la penetración N_1 , es la resistencia a la penetración medida en los depósitos de arena y corregida a una presión efectiva de una atmósfera(como se discute en el capítulo 7).

Seed e Idriss(1981) definieron una línea límite inferior(línea de trazos en el Figura 8-1). No obstante como / puede verse en la Figura 8-1 hay cierta incertidumbre en la ubicación de la línea límite entre licuefacción y no licuefacción. Esta incertidumbre fue tenida en cuenta en nuestro análisis, ajustando los datos mediante una línea de regresión que minimiza el error cuadrático de los puntos mal / clasificados(Yegian y Whiteman,1977). Los puntos mal clasificados están representados por los círculos llenos ubicados debajo de la línea límite. La línea límite que minimiza el error está dibujada como línea continua en la Figura 8-1.

En una investigación realizada durante 1982, Seed e Idriss indican que la línea límite a que hemos hecho referencia anteriormente(línea de trazo de la Figura 8-1) debe considerarse como un nivel de percentil 5 al calcular las probabilidades de licuefacción. Si asumimos una distribución lognormal para CSR_L , entonces la línea de trazos representa el nivel -1,65 de sigma. La desviación estandard de $\ln CSR_L$ se especifica dividiendo el logaritmo de la relación de las dos curvas que aparecen en la Figura 8-1 por 1.65.

La probabilidad de licuefacción para una relación de tensiones cíclicas y un valor N_1 dados, está expresada por:

$$P(L/CSR, N_1) = F_u \left(\frac{\ln CSR - E \left[\ln CSR_L (N_1) \right]}{s \left[\ln CSR_L (N_1) \right]} \right) \quad (8-5)$$

donde $F_u()$ es la distribución normal acumulativa estandar, $E\{\ln CSR(N_1)\}$ es el valor medio de $\ln CSR_L$, representado por la línea continua en la Figura 8-1, y $s\{\ln CSR_L(N_1)\}$ es la desviación estandar de $\ln CSR_L$.

Seed e Idriss (1982) indican que si la relación de tensiones cíclicas inducidas por el movimiento sísmico resultan menor que el 75% de los valores dados por la línea de trazos de la Figura 8-1, entonces la probabilidad de licuefacción debe considerarse nula. Por lo tanto la distribución lognormal de CSR_L se limitó a este nivel.

Efecto de la magnitud sobre la relación de tensiones cíclica.

La información presentada en la Figura 8-1 es para comportamiento de campo durante terremotos de magnitud de aproximadamente 7-1/2. Estos resultados pueden extenderse a otras magnitudes, teniendo en cuenta que los efectos principales de la magnitud del terremoto sobre la licuefacción se manifiestan en la duración de carga (suponiendo igual aceleración pico). Para el análisis de la licuefacción, la duración de la carga se expresa como el número equivalente de ciclos de carga. Los histogramas de esfuerzos (o tensiones) irregulares, resultantes de terremotos de diferente magnitud pueden representarse por medio de ciclos de esfuerzo (o tensión) uniforme equivalente a un nivel de esfuerzo promedio de $0,65 \tau_{m\acute{a}x}$. Los estudios estadísticos de Seed y otros (1975) demuestran que el número de ciclos equivalentes de esfuerzo uniforme, NC , para diferentes magnitudes m , puede obtenerse por la relación:

$$NC = 0,24 e^{0,55 m} \quad (8-6)$$

Numerosos estudios de laboratorio han demostrado que la rela

ción de tensiones necesarias para causar licuefacción decrece a medida que el número de ciclos de carga aumenta. La relación promedio presentada por Seed e Idriss (1981), se puede representar, en el rango de NC de 3 a 20, por la relación:

$$\tau_{av} = A \cdot NC^{-0,3} \quad (8-7)$$

Donde la constante A es una función de la resistencia del suelo. Combinando las ecuaciones 8-6 y 8-7, la tensión cíclica inducida por un terremoto de magnitud m, puede convertirse en una tensión cíclica equivalente inducida por un terremoto de magnitud 7-1/2, usando la relación:

$$\frac{\tau_{av}(M = 7,5)}{\tau_{av}(m)} = e^{0,17(m-7,5)} \quad (8-8)$$

La ecuación 8-8 es aplicable en el rango de magnitud que va de 5. a 8.

Las ecuaciones 8-2 y 8-8 pueden combinarse para definir una relación de tensiones cíclica equivalente $\overline{CSR}(a_{m\acute{a}x}, m)$ para un terremoto de magnitud m, que puede ser comparado directamente con los resultados empíricos que aparecen en la Figura 8-1. La relación es:

$$\overline{CSR}(a_{m\acute{a}x}, m) = 0,65 \frac{a_{m\acute{a}x}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} r_d e^{0,17(m-7,5)} \quad (8-9)$$

Cálculo de la frecuencia media anual de sismos que originan licuefacción.

El número medio anual de eventos que causan licuefacción, \bar{v}_L , está dado por la expresión:

$$\bar{v}_L = \sum_i \sum_j \bar{v}(a_i, m_j) \cdot p(L/a_i, m_j) \quad (8-10)$$

donde $\bar{V}(a_i, m_j)$ es el número medio anual de sismos de magnitud m_j que producen una aceleración pico a_i en el sitio, y $p(L/a_i, m_j)$ es la probabilidad de licuefacción dadas a_i y m_j . La probabilidad de licuefacción es función del nivel freático y la densidad del suelo medida por el parámetro N_1 .

La probabilidad de licuefacción en el sitio está dada por la expresión:

$$p(L/a_i, m_j) = \sum_k p(dw_k) \cdot p(L/a_i, m_j, dw_k) \quad (8-11)$$

donde $p(dw_k)$ es la probabilidad de tener una profundidad determinada hasta el agua y $p(L/a_i, m_j, dw_k)$ es la probabilidad de licuefacción dada a_i, m_j , y dw_k .

La probabilidad de tener una cierta napa freática se considera como aquella porción del año en que la napa freática está a determinada profundidad. Esto es válido porque la probabilidad de ocurrencia de un terremoto es supuestamente uniforme en el tiempo. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) realiza mediciones periódicas del nivel de la napa freática en el Valle de Tulum. Dicha napa tiene variaciones cíclicas controladas por la irrigación y la evapotranspiración. El examen de los mapas de isobatas (curvas de igual profundidad de agua) mínimas y máximas para el año 1980 indica una diferencia promedio de aproximadamente un metro. Por consiguiente, se dividió el año en dos partes. Se asumió que la mínima profundidad al agua (o sea los máximos niveles) tienen lugar durante cuatro meses, (aproximadamente en el período septiembre-diciembre), $p(dw_{\min}) = 0,33$ y la máxima profundidad (mínimos niveles) durante ocho meses $p(dw_{\max}) = 0,67$.

La probabilidad de que se produzca licuefacción en un sitio, dados a_i, m_j y dw_k se evalúa dividiendo la columna /

de suelo en capas. Dentro de cada capa, la probabilidad de licuefacción $p_1(L/a_i, m_j, dw_k)$ está dada por:

$$p_1(L/a_i, m_j, dw_k) = \sum_n p(N_{1n}) \cdot p_1(L/a_i, m_j, dw_k, N_{1n}) \quad (8-12)$$

El término $p(N_{1n})$ es la probabilidad de tener un valor particular de la resistencia a la penetración en la capa de suelo. Se asumió que la resistencia a la penetración de la capa de suelo era una variable discreta al azar. La distribución para N_1 en un cierto punto se estimó por medio de / una técnica de ponderación de la inversa del cuadrado de la distancia.

La probabilidad de que ocurra licuefacción en la capa de suelo, $p_1(L/a_i, m_j, dw_k, N_{1n})$ se evalúa usando las ecuaciones 8-3 a 8-5. La profundidad al punto medio del estrato, d_1 y la profundidad del agua, dw_k , se usan en las ecuaciones 8-3 y 8-5 para calcular las tensiones verticales efectivas debidas al peso del suelo que está por encima de la capa. Estos valores se usan junto con la aceleración pico a_i y la magnitud de terremoto, m_j en la ecuación 8-9 para calcular la relación de tensiones cíclicas CSR inducida en la capa. La probabilidad de que se produzca licuefacción en dicho estrato, dados CSR y la resistencia a la penetración N_{1n} , se calcula usando la ecuación 8-5.

Para obtener la probabilidad de licuefacción en un sitio, dados a_i, m_j y dw_k , se asume que la ocurrencia de licuefacción en una capa cualquiera es independiente de la ocurrencia en cualquier otra. Se asumió esa independencia debido a la variabilidad del depósito de suelo con la profundidad. La probabilidad de que ocurra licuefacción en el sitio, es entonces, igual a uno menos la probabilidad de que no //

ocurra licuefacción en cualquier capa.

$$p(L/a_i, m_j, dw_k) = 1 - \pi_1 \left[1 - p_1(L/a_i, m_j, dw_k) \right] \quad (8-13)$$

Por lo tanto la probabilidad de que ocurra licuefacción en un sitio, dados un valor de aceleración particular, a_i y de magnitud, m_j , se obtiene considerando la variabilidad de la profundidad del agua y de la resistencia a la penetración del depósito del suelo.

El número medio anual de sismos de una aceleración y magnitud particulares, $\bar{V}(a_i, m_j)$ se obtiene discretizando los resultados del análisis de exposición sísmica descrito en el Capítulo 6. La ecuación 8-10 se usa entonces para obtener el número medio anual total de sismos que causan licuefacción en el sitio. La probabilidad de que se produzca licuefacción en un período de tiempo determinado se calcula mediante la ecuación 8-1. El análisis se repite entonces en todos los puntos de una cuadrícula y se confecciona un mapa de curvas de igual probabilidad.

8.1.2. Probabilidad de licuefacción durante el terremoto de 1977.

Como una verificación del enfoque bosquejado en la Sección 8.1.1. se hizo una determinación de la probabilidad de licuefacción, asumiendo que el terremoto de magnitud (M_s) 7,4 se produjo en la Falla de la Sierra de Pie de Palo. Como el terremoto ocurrió en noviembre de 1977, se asumió que la profundidad al agua freática en el valle era mínima en ese momento (o sea estaba en su nivel máximo). La relación de / atenuación desarrollada en el Capítulo 6 se usó para estimar la distribución de las aceleraciones pico producidas en puntos igualmente espaciados perteneciente a una cuadrícula

trazada en el valle, por un terremoto de magnitud(M_s)7,4. La probabilidad de licuefacción en un punto de la cuadrícula está dado por:

$$p(1) = \sum_i p(a_i/m = 7,4) \cdot p(L/a_i, m = 7,4, dw = dw_{\min}) \quad (8-14)$$

La probabilidad de obtener una aceleración pico particular, se obtiene discretizando la distribución lognormal para a_{\max} .

La Figura 8-2 muestra el área dentro del Valle de Tulum para la cual, la probabilidad de que ocurra licuefacción debido al terremoto de 1977 es superior al 50%. Al este del río San Juan, las áreas de alta probabilidad de ocurrencia de licuefacción, generalmente coinciden con las áreas donde se registró la misma (ver Figura 7-12). También se determinaron altas probabilidades de ocurrencia debido al terremoto de 1977, para zonas ubicadas al oeste del río. Un relevamiento llevado a cabo en esa zona en abril de 1982, puso de manifiesto que efectivamente se había producido amplia licuefacción.

8.1.3. Peligro de licuefacción en el Valle de Tulum.

Los métodos descritos en la sección 8.1.1. se combinaron con el análisis de exposición sísmica (Capítulo 6), a fin de calcular la probabilidad de licuefacción en el Valle de Tulum. Los resultados indican que la probabilidad de que ocurra licuefacción en un período de 50 años, es generalmente mayor que 50% en toda la zona irrigada del valle. La uniformidad del nivel de peligro es debida a un nivel uniforme de exposición sísmica, sólo pequeñas variaciones en el número medio de golpes en todo el valle y a un nivel freático que generalmente está entre 1 y 4 metros de profundidad.

Con los resultados de este análisis se confeccionó un mapa que muestra zonas de alto, intermedio y bajo peligro de licuefacción. Como se observa en la Figura 8-3 la zona de alto peligro de licuefacción encierra el área de suelos aluviales profundos en el valle y generalmente concuerda / con las áreas de cultivo. La zona de peligro intermedio corresponde a las zonas de transición que aparecen en la Figura 7-1 y a áreas que generalmente no están irrigadas. La zona de bajo peligro de licuefacción coincide con las / áreas de suelos granulares gruesos del cono aluvial. Debe tenerse en cuenta que la zona de alto peligro de licuefacción de la Figura 8-3 sirve para representar un nivel general de peligro, basado en la limitada cantidad de datos disponibles respecto a los suelos. La alta probabilidad de licuefacción en un sitio dentro de esta zona está condicionada a que en él existan suelos arenosos. Se espera que dentro de la zona de alto peligro de licuefacción puedan existir algunos sitios particulares que posean un bajo peligro de licuefacción debido a la presencia de suelos densos o arcillosos. Estas áreas pueden ser identificadas mediante relevamientos de suelos más detallados e investigaciones in-situ.

8.2. Evaluación probabilística del peligro de rotura superficial.

La evaluación del potencial de rotura superficial que se presenta en esta sección se basa en la suposición de que la rotura superficial probable está circunscripta a zonas ubicadas a lo largo de las fuentes sísmicas identificadas en el Capítulo 4. La longitud de la rotura superficial y la cantidad de desplazamiento correspondiente a distintas magnitudes se ha estimado en base al conjunto de datos de alcance mundial presentado por Slemmons(1982). Como se comprobó solamente una pequeña cantida de rotura superficial du-

rante el terremoto de 1944 (Ms 7,4) y ninguna de importancia durante el de 1977 (Ms 7,4), los niveles de peligro de rotura superficial que aquí se presentan, representan un límite superior del peligro real en la provincia de San // Juan.

8.2.1. Enfoque.

La probabilidad de rotura superficial se puede evaluar usando un enfoque similar al desarrollado en el Capítulo 6 para la probabilidad de excedencia de los niveles del movimiento sísmico. Como la ocurrencia de terremotos en una falla se ha considerado un proceso de Poisson, la ocurrencia de rotura en superficie en un punto a lo largo de la falla, se considera también un proceso de Poisson. La probabilidad de que el desplazamiento de la rotura superficial, D , exceda un cierto valor, d , en un período, t , está dada por:

$$p(D > d/t) = 1 - e^{-\bar{v}(d)t} \quad (8-15)$$

donde $\bar{v}(d)$ es el número medio anual de sismos en los cuales D excede d en un punto a lo largo de la falla. El número medio anual de sismos está dado por la expresión:

$$\bar{v}(d) = \sum_i \lambda(m_i) p(SR_p/m_i) \cdot p(D > d/m_i) \quad (8-16)$$

donde $\lambda(m_i)$ es la frecuencia media anual de terremotos m_i en la falla; $p(SR_p/m_i)$ es la probabilidad de que suceda rotura superficial en un punto a lo largo de la falla dada la magnitud m_i del terremoto, y $p(D > d/m_i)$ es la probabilidad de que el desplazamiento superficial, D , exceda una cantidad determinada, d . La frecuencia media anual de sismos de magnitud m_i está dada por la relación que se presenta en el Capítulo 6. Los términos restantes se analizan a continuación.

Probabilidad de rotura superficial.

La probabilidad de que ocurra rotura en superficie en un punto, está dada por:

$$p(SE_p/m_i) = p(SR/m_i) \cdot p(SR_p/SR, m_i) \quad (8-17)$$

El término $p(SR/m_i)$ es la probabilidad de que la rotura de la falla alcance la superficie supuesto que un terremoto de magnitud m_i haya ocurrido en la falla. Se asume que los terremotos de magnitud menor que (Ms)5,5 no producirán rotura superficial significativa. Además, de acuerdo a lo observado durante el terremoto de 1977 (Ms 7,4) puede decirse que los grandes terremotos superficiales no siempre producirán rotura en superficie. Por lo tanto, se asume que la probabilidad de rotura superficial vale:

$$\begin{aligned} p(SR/m_i) &= 0 && \text{para } m_i < 5,5 \\ p(SR/m_i) &= 0,8 && \text{para } m_i \geq 5,5 \end{aligned} \quad (8-18)$$

El término $p(SR_p/SR, m_i)$ es la probabilidad de que ocurra rotura superficial en un punto p a lo largo de la falla, supuesto que un terremoto de magnitud m_i haya roto la superficie. Como se asume que la ocurrencia de terremotos se distribuye uniformemente a lo largo de la falla, la probabilidad de tener rotura superficial en el punto, está dada por el cociente entre la longitud de rotura superficial para ese terremoto y el largo total de la falla:

$$p(SR_p / SR, m_i) = \frac{L_{SR}(m_i)}{L_F} \quad (8-19)$$

donde $L_{SR}(m_i)$ es la longitud promedio de rotura superficial para un terremoto de magnitud m_i , y L_F es la longitud total de la falla. Slemmons(1982) presenta información referida a

magnitudes y longitud de rotura superficial, correspondiente a varios tipos de fallamiento de un conjunto de datos de alcance mundial. De acuerdo a sus datos, la relación promedio entre magnitud y rotura superficial para fallamiento in verso e inverso oblicuo está dado por:

$$L_{SR} = 0,00051 e^{1,59 m} \text{ (km)} \quad (8-20)$$

y para falla de rumbo, por:

$$L_{SR} = 0,00038 e^{1,73m} \text{ (km)} \quad (8-21)$$

Probabilidad de desplazamiento superficial.

Slemmons(1982) también presenta datos referidos al máximo desplazamiento superficial que ocurre durante la rotura superficial. Esos datos fueron usados para establecer una relación entre el desplazamiento y la magnitud del terremoto, de la forma:

$$\ln D = a + bm \quad (8-22)$$

Asumimos que el desplazamiento posible sea distribuido en forma lognormal alrededor del valor dado por la ecuación 8-22. Por lo tanto la probabilidad de que el desplazamiento superficial D exceda un nivel especificado d , está dada por:

$$p(D > d/m_1) = 1 - F_u \left(\frac{\ln d - E [\ln D (m_1)]}{s [\ln D]} \right) \quad (8-23)$$

donde $E [\ln D (m_1)]$ es el valor medio de $\ln D$, dado por la ecuación 8-22; $s[\ln D]$ es la desviación estándar de $\ln D$, y F_u es la distribución normal acumulativa estándar.

Para desplazamiento inverso e inverso oblicuo la relación entre magnitud y desplazamiento en metros, está dada por:

$$\ln D = -6,05 + 0,97 \cdot m \quad (8-24)$$

Con un error estandar de 0,63 en $\ln D$. Para fallamiento de rumbo, la relación es:

$$\ln D = -14,13 + 2,05 \cdot m \quad (8-25)$$

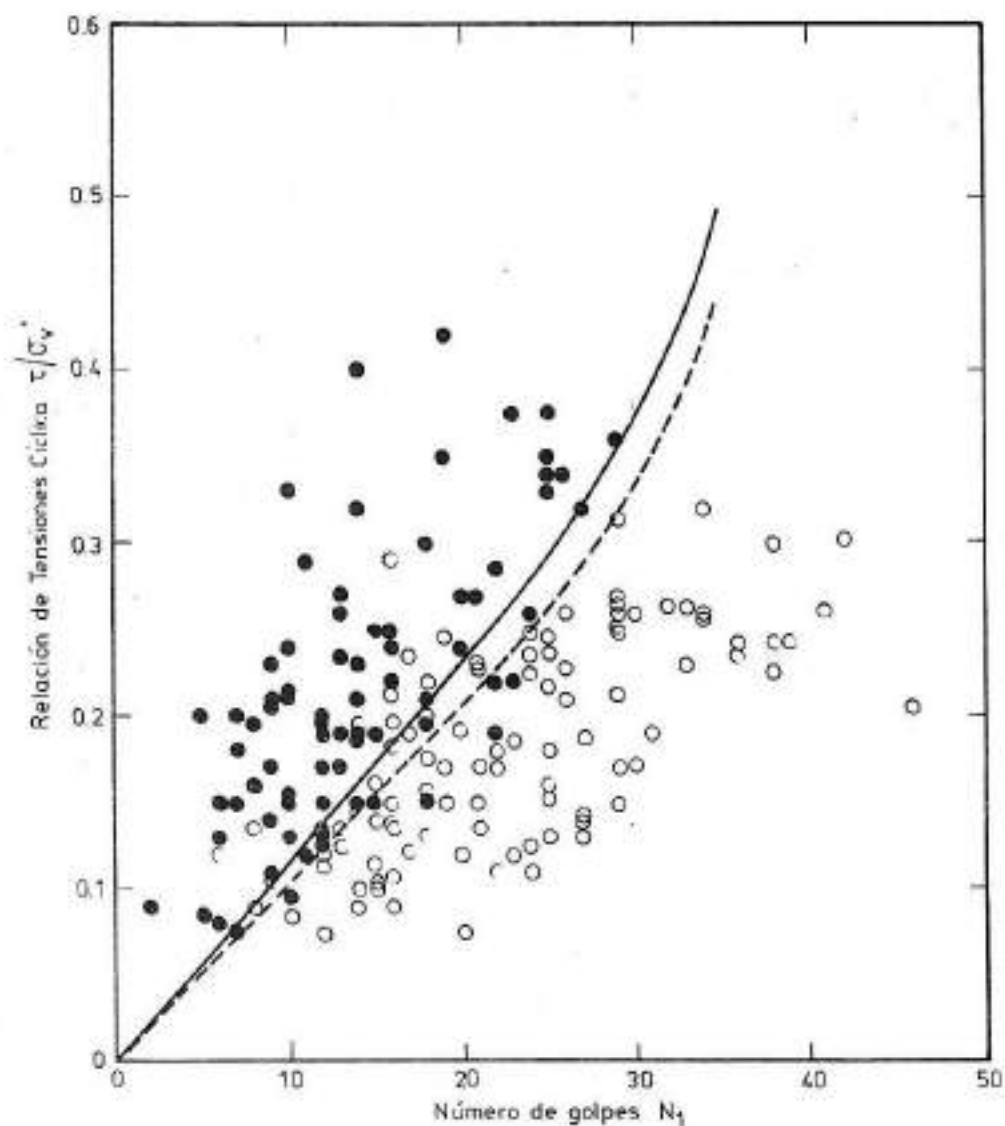
Con un error estandar de 0,80 en $\ln D$. Los datos presentados por Slemmons(1982) son desplazamientos máximos. Se asumió que el desplazamiento promedio a lo largo de la falla sea la mitad del valor máximo dado por las ecuaciones 8-24 ó 8-25. Introduciendo el valor medio en la ecuación 8-23 se calculó la probabilidad de que D exceda a d .

8.2.2. Peligro de rotura superficial.

Continuando el análisis descripto anteriormente con las relaciones de recurrencia analizadas en el Capítulo 5, se calculó la probabilidad de rotura superficial a lo largo de las seis fuentes activas de corteza identificadas en el Capítulo 4. Los resultados se presentan a continuación:

FUENTE SISMICA	Probabilidad anual de excedencia de la rotura de falla	
	0,1 m	1,0 m
Falla de la Caída del Tigre	$1,8 \times 10^{-3}$	$9,5 \times 10^{-4}$
Región de la Precordillera	$2,0 \times 10^{-4}$	$7,8 \times 10^{-5}$
Falla del Frente Norte	$7,4 \times 10^{-4}$	$2,9 \times 10^{-4}$
Falla de la Precordillera	$1,1 \times 10^{-2}$	$3,8 \times 10^{-3}$
Falla de la Sierra de Pie de Palo	$2,5 \times 10^{-3}$	$9,8 \times 10^{-4}$
Falla de la Sierra de Valle Fértil	$9,8 \times 10^{-8}$	$3,9 \times 10^{-5}$

La rotura superficial puede ocurrir en cualquier lugar dentro de una distancia de aproximadamente 5 km a ambos lados de las trazas de las fallas mostradas en la Figura 4-1, de acuerdo con los datos suministrados por Bonilla(1970). Los niveles de peligro presentados en la tabla anterior, se consideran por lo tanto distribuidos sobre una zona de aproximadamente 10 km de ancho, a lo largo de cada una de las fuentes con excepción de la Región de la Precordillera en / la cual el peligro se distribuye sobre todo el ancho de la zona fuente.



REFERENCIAS

- Licuefacción
- Sin Licuefacción
- Línea límite propuesta por Seed e Idriss (1981) para $M_w=7\frac{1}{2}$
- Línea límite media para $M_w=7\frac{1}{2}$

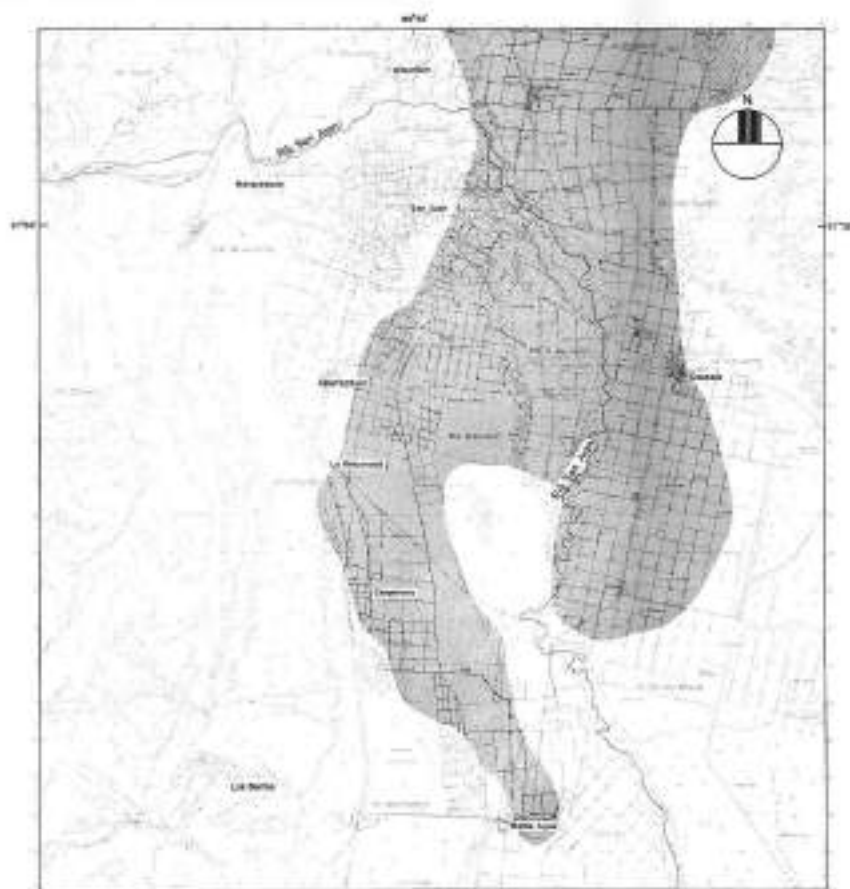
INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACIÓN SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN-REPÚBLICA ARGENTINA


Gil-Nafá-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

CORRELACION ENTRE EL COMPORTAMIENTO
DE SUELOS ARENOSOS Y SU RESISTENCIA
A LA PENETRACION

Figura
8-1

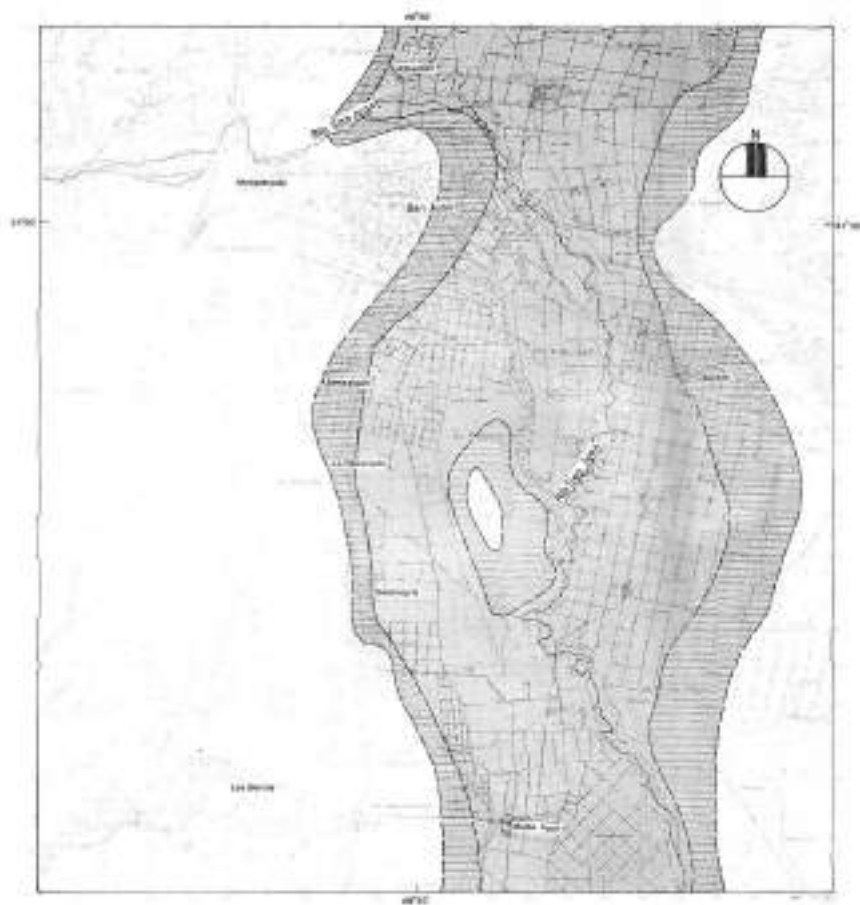


REFERENCIAS




 Zona con una probabilidad de ocurrencia de licuefacción mayor del 50% durante el terremoto de 1977

0 5 10 20 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA		Figura
GII-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES SRL		8-2
		ZONA DE OCURRENCIA DE LIQUEFACCION PRONOSTICADA PARA EL TERREMOTO DEL 23/11/1977



REFERENCIAS

-  Zona de peligro de licuefacción alta
-  Zona de peligro de licuefacción intermedio
-  Zona de peligro de licuefacción bajo

0 5 10 20 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		Figura 8-3
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA	MAPA DE PELIGRO DE LIQUEFACCION PMPA EL VALLE DE TULUM	
GH-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES SRL		

9.0. CARACTERISTICAS DE LAS CONSTRUCCIONES EXISTENTES EN LA ZONA BAJO ESTUDIO.

9.1. Objetivos y definiciones.

Esta etapa del proyecto tiene como objetivo principal determinar las características sismorresistentes de las construcciones existentes en los núcleos urbanos del área bajo estudio.

Para ello, en la metodología propuesta, se previó realizar una encuesta específica de todas las construcciones y a tal efecto se consideró como zona o núcleo urbano, aquellas localidades cuyo número de construcciones es igual o mayor que cien(100).

En este estudio se han tenido en cuenta las construcciones de todo tipo ubicadas en cada núcleo urbano detectadas a través de esta nueva encuesta.

Las unidades censales en que se dividió el área son las siguientes.

Departamento: División política mayor de la provincia.

Fracción : Subdivisión del Departamento como técnica de aproximación en la selección de la unidad de análisis.

Radio : Parte de la fracción compuesta por aproximadamente 300 viviendas.

Segmento : Componente del radio que comprende entre 15 y 30 viviendas.

Vivienda : Todo el albergue fijo o móvil construido o adaptado para alojar personas.

Construcción: Toda obra realizada con el objeto de servir de albergue(vivienda), o destinada a ser ocupada por industrias, talleres, negocios, etc..

9.2. Tipos de construcciones existentes en el área en estudio.

Previo a la descripción de la metodología utilizada para realizar la encuesta de las construcciones en los distintos núcleos urbanos, se describirán someramente los distintos tipos de construcciones existentes en general en la zona, en base a las características de los materiales, técnicas constructivas y tipos estructurales predominantes. (INPRES,1977).

9.2.1. Construcciones efectuadas con previsiones sismorresistentes.

La mayoría de este tipo de construcciones han sido / ejecutadas siguiendo las prescripciones del Código de Edificación de la Provincia de San Juan, vigente desde el año 1948. Luego que el INPRES declarara de aplicación las Normas Antisísmicas CONCAR 70(año 1970), las construcciones sismorresistentes se ejecutaron aplicando indistintamente las regulaciones sismorresistentes de ambas reglamentaciones, en la actualidad son de aplicación las disposiciones de la última de las nombradas o de las más reciente NAA-80.

Las fundaciones más comunmente usadas en la Provincia de San Juan son del tipo superficial o directas.

Las construcciones menores, en su gran mayoría de una planta y en menor proporción de dos plantas, se ejecutan disponiendo los muros portantes de mampostería como elementos resistentes a sollicitaciones horizontales.

Dichos muros son ejecutados, de acuerdo a las normas antisísmicas vigentes, formando paneles de mampostería, ya sea de ladrillos cerámicos macizos o huecos, o bloques huecos de hormigón, convenientemente encadenados con columnas y vigas de hormigón armado y generalmente fundados sobre ci

mientos de hormigón ciclópeo de 60 a 70 cm de profundidad o sobre plateas de hormigón armado.

Los techos y entrepisos están constituidos por losas macizas de hormigón armado, o bien por elementos yuxtapuestos (ladrillos cerámicos armados o viguetas de hormigón armado o pretensado), asegurando una adecuada rigidez y resistencia en su plano, a fin de distribuir las fuerzas horizontales entre los elementos resistentes.

En la ciudad de San Juan, existe un buen número de edificios con estructura sismorresistentes de hormigón armado, de alturas variables que en algunos casos llegan hasta los 35 metros. La solución estructural adoptada para este tipo de construcciones consiste en pórticos de hormigón armado dispuestos, en la mayoría de los casos, en direcciones ortogonales.

Existe además una muy baja proporción de construcciones de ladrillos macizo sin estructura sismorresistente, la mayoría bastante antigua, que se han comportado en forma variada frente a los terremotos destructivos ocurridos en la zona.

9.2.2. Construcciones de adobe.

En la zona rural existe una gran proporción de construcciones ejecutadas con adobes, proporción que también alcanza significativos valores en algunas zonas del Gran San Juan. Se trata de construcciones con muros de adobes, techo de caña y barro apoyados sobre rollizos de madera de álamo. Constituyen la mayoría de las construcciones colapsadas, durante el terremoto del 23/XI/77. Por lo general, fueron construidas, tanto en los núcleos urbanos, fuera del Gran San Juan, como en zonas rurales, por familias de escasos recursos.

Comunmente presentan serias deficiencias de diseño y

constructivas, tales como falta de cimiento, incorrecta ejecución de aparejos en los muros, inadecuada trabazón en encuentro de muros, ausencia de solidarización de la estructura de techo con los muros, alturas y longitud de muros excesivas, etc.,.

Existen algunas edificaciones de adobes que han sido ejecutadas siguiendo normas y/o recomendaciones constructivas, que se distribuyeron con autorización de la autoridad competente con carácter de "Normas Constructivas en Adobe". En dichas normas se prescriben disposiciones constructivas referentes a cimientos, muros, dimensiones de locales en / planta y elevación, capas aisladoras, dinteles, encadenados y estructura de techos. Las construcciones, especialmente viviendas que cumplieron dichas exigencias, observaron en general un buen comportamiento ante la acción sísmica durante el terremoto de 1977.

9.3. Descripción de la metodología desarrollada para la obtención de datos.

Dada la importancia del proyecto y debido a la necesidad de lograr información a niveles más desagregados (localidades, radios y hasta nivel de segmento) para cumplir eficazmente con el objetivo, se optó por un relevamiento exhaustivo o "censo de todas las construcciones".

Delimitadas las localidades se confeccionó un listado con la nomenclatura censal, que incluye: número y nombre del departamento, fracción, radio, segmento. Posteriormente se ubicaron y ratificaron dichas localidades en el mapa del Valle de Tulum.

Sobre la base de la cartografía utilizada para la realización del CNP y V-80 se confeccionaron los mapas de campo para ser utilizados por los encuestadores, los que incluyeron la cartografía general (departamento y fracciones) y

la particular(radios).

Se diseñó un formulario que contempla a la nomenclatura censal, esencial para el control de datos; las características generales, de las cuales quizás la más importante sea el destino del edificio, además año de construcción y número de pisos.

En lo atinente a evaluación de la seguridad se previó que, si la construcción censada fue construída con planos aprobados, no era necesario continuar con las demás preguntas, ya que en ese caso se le asigna la categoría de sismo resistentes. En caso contrario se continuaba con la investigación acerca de las características estructurales del / edificio, para lo cual el formulario contempla: estructura / resistente, material de mampostería, espesor de muro, armado o no del mismo, encadenados, techos, etc..

El personal de campo(encuestadores) estaba constituido por diez estudiantes del último año de la carrera de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de San Juan, permanentemente dirigidos por un Jefe de Campo, quien a su vez era receptor y clasificador de los formularios.

Las tareas propias del relevamiento comprendieron las entrevistas realizadas por los encuestadores bajo la dirección del Jefe de Campo, la recepción del material y su control previo de consistencia y coherencia. La supervisión por parte de los profesionales, la clasificación y ordenamiento de los formularios, etc..

A fin de complementar los datos obtenidos a partir de la encuesta, se solicitó información al Banco Hipotecario Nacional sucursal San Juan, Instituto Provincial de la Vivienda, Sector Viviendas del INPRES, Area Estadísticas y / Censo de la S.E.P.E., acerca de la cantidad, características, ubicación, etc. de las viviendas construídas por los / diferentes planos oficiales. Dicha información fue procesada, analizada y comparada con los resultados de la encuesta.

Dadas las características de la información relevada, el objetivo perseguido y teniendo en cuenta que en los controles previos y durante la recepción de los formularios se realizaron tabulaciones provisionales de control, se optó por procesar la información manualmente. Como resultado de ello se obtuvieron cinco tablas, de las cuales en este informe resumido se presentan sólo dos de ellas.

TABLA N°9-1: Clasificación de las construcciones por lo calidad según el tipo de material y resistencia a sismos.

TABLA N°9-2: Clasificación de las construcciones por lo calidad según el número de pisos.

9.4. Análisis de los resultados.

Como resultado del relevamiento efectuado se obtuvo un número significativo de datos, cuyo procesamiento permitió confeccionar las tablas que agrupan la información obtenida según distintas variables. Indudablemente de todas / ellas la más importante es la tabla 9-1 que resume la evaluación de la seguridad estructural. De ella surge que a la fecha de la encuesta (marzo a junio de 1981) existían en los núcleos urbanos de la zona bajo estudio 83.683 construcciones.

Los totales generales indican que predominan dos tipos de construcciones: las de mampostería que suman 50.141 o sea un 59,9% del total y las de adobes que llegan a 33.255 o sea un 39,7%. Las construcciones de otro tipo suman 289 (0,4% del total).

En lo que se refiere a las características sismorresistentes evaluadas de acuerdo a lo descrito en 9.5, puede decirse que 40.010 construcciones (58,6% del total) han sido

clasificadas como sismorresistente y el resto, o sea / 34.673(41,4% del total) como no sismorresistente.

La proporción de construcciones de uno y otro tipo va ría ampliamente según la localidad. Por ejemplo, en la loca lidad de Las Lomitas, departamento de Albardón, las cons- trucciones sismorresistente representan solamente un 9% del total y las no sismorresistente un 91%, estando constituidas en su mayor parte por viviendas de adobe(88,4% del to- tal). En el otro extremo tenemos la fracción 1(Gran San // Juan del departamento Capital) en la cual las construcciones sismorresistente representan un 97,9% del total y las de adobe solamente el 2,1%.

A fin de visualizar de una mejor manera los resulta- dos resumidos en la tabla 9-1 se los ha graficado en dos / mapas. El de la Figura 9-2 correspondiente al Gran San Juan y el de la Figura 9-1 que incluye al resto de los núcleos urbanos de la zona bajo estudio.

La tabla 9-2 ordena a las construcciones según el nú- mero de pisos. Es de hacer notar que a excepción de algunas fracciones del Gran San Juan correspondientes al Departamento Capital(sobre todo la 1 y 5), el mayor porcentaje corres- ponde a las construcciones de un piso, que en total general representan un 95,8%.

Las de dos pisos ascienden a un 3,9% y el resto no su pera el 1%. La información contenida en esta tabla, junto con la referida al valor del período de vibración de la / construcción en función del número de pisos, proporcionada por INPRES(tabla 9-3), resulta de utilidad para analizar la respuesta de las construcciones en base a los espectros de respuesta. Los datos contenidos en la tabla 9-3 se grafica- ron(ver Figura 7-10)ajustándolos por mínimos cuadrados.

9.5. Evaluación de la seguridad estructural.

Para determinar el probable comportamiento de las / construcciones ante la acción sísmica, pueden seguirse distintos procedimientos. Uno de ellos contempla el análisis teórico del comportamiento de las diversas estructuras ante un terremoto de magnitud especificada, considerando la respuesta estructural a las sollicitaciones dinámicas horizontales y verticales, y teniendo en cuenta las características de los suelos de las distintas ubicaciones. El tiempo requerido para llevar a cabo el estudio para todas las // construcciones y el costo consecuente serían prohibitivos.

Otra alternativa consiste en agrupar las construcciones en conjuntos de características similares en cuanto a materiales de construcción utilizados, tipo estructural, diensiones, etc., reuniendo toda la información posible referida al proyecto de dichas construcciones para así evaluar el grado de seguridad con que fueron diseñados. De ese modo, analizando una o algunas pocas construcciones de cada grupo se obtienen resultados y conclusiones que se pueden considerar como representativos de las construcciones del mismo.

Para esta investigación se adoptó el segundo enfoque, viéndose facilitada la labor por cuanto las construcciones existentes se pueden catalogar en pocos grupos.

En la determinación de la seguridad estructural se / ha tenido en cuenta que las construcciones se hayan ejecutado o no, con planos aprobados e inspecciones del ex-Consejo de Reconstrucción de San Juan o de su sucesor la Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano de la Provincia.

Los códigos de edificación determinan generalmente el criterio a usar en el proyecto estructural de los edificios. Aunque a veces son criticados, puede decirse en general que los códigos representan los conocimientos y criterios actuales en materia de ingeniería sismorresistente y que, los

vigentes en la Provincia de San Juan, han dado prueba de su bondad en ocasión de los terremotos de 1952 y 1977.

El propósito de las normas sismorresistentes vigentes en nuestro país, es que las construcciones diseñadas y ejecutadas de acuerdo a sus lineamientos, puedan: 1) resistir sin daño los sismos de baja intensidad (que son los más frecuentes), 2) resistir los terremotos moderados sin daño estructural, aunque puedan ocurrir algunos daños no estructurales, 3) resistir los terremotos más intensos que puedan / ocurrir en la zona sin que se produzca colapso, aún ocurriendo daños estructurales. Todo lo anteriormente descrito tiende a evitar la pérdida de vidas y el daño físico a personas.

También ha jugado un rol importante en la evaluación de la seguridad estructural, la experiencia profesional específica de nuestra firma, en lo referente a proyecto, cálculo estructural, dirección y fiscalización de obras. Además, algunos de nuestros profesionales han formado parte de varias misiones de reconocimiento de zonas afectadas por terremotos destructivos tales como el de Chimbote (Perú) 1970, Lima (Perú) 1974, Guatemala (1976), Cauce (1977), evaluando el comportamiento de las construcciones ante el efecto sísmico.

Todo lo descripto anteriormente sirvió de base para evaluar la seguridad de las construcciones encuestadas. El criterio seguido fue dividir las en tres clases: 1) construcciones de adobe; 2) de mampostería y 3) de otros tipos. Dicho criterio se adoptó en virtud de las características de los tipos de construcciones predominantes, según se detalla en 9.4 y en concordancia con lo sugerido en el Pliego de Especificaciones Técnicas del llamado a concurso.

A las construcciones de adobe se las catalogó como no sismorresistentes independientemente de cualquier otra consideración.

A las de mampostería se las dividió en dos clases: sismorresistentes y no sismorresistentes. Lo mismo se hizo con las construcciones de otro tipo (de madera, metálicas, mixtas), cuya cantidad es demasiado pequeña como para ser significativa (0,4% del total).

Con respecto a las construcciones de mampostería, puede decirse que gran parte del total de ellas, que denominaremos construcciones autorizadas, han sido construidas con planos aprobados y bajo la fiscalización en obra de la autoridad competente y por tal razón se las consideró sismorresistentes. Al resto, que podríamos denominar obras subterfugas, se las evaluó individualmente, encontrándose en muchos casos que, habían sido ejecutadas cumpliendo en gran parte o en todo con las especificaciones del catálogo, como consecuencia de la conciencia del peligro sísmico que existe tanto en los propietarios como en los constructores.

TABLA 9-1

CLASIFICACION DE LAS CONSTRUCCIONES SEGUN EL TIPO DE MATERIAL Y RESISTENCIA A SISMOS

DEPARTAMENTO	LOCALIDAD	De Mampostería					De		De Otros Tipos					TOTAL GENERAL (3)		
		Sismorresistente		No sismorresist.		Subtotal (1)	Adobes	Sismorresistente		No sismorresist.		Subtotal (2)				
		Cant.	de (3)	Cant.	de (3)			Cant.	de (3)	Cant.	de (3)		Cant.		de (3)	
						1	2					1				2
01 Almería	Va. San Martín	242	59,3	2	0,5	244	59,8	164	40,2	-	-	-	-	-	408	
	Calle La Laja	189	34,5	2	0,4	191	34,9	365	63,1	11	2	-	-	11	2	547
	Las Lomitas	14	9,-	2	1,3	16	10,3	138	88,4	-	-	2	1,3	2	1,3	156
02 Angaco	Va. Sefair-Talacasto	42	22,8	-	-	42	22,8	142	77,2	-	-	-	-	-	-	184
	Va. El Salvador	293	71,5	1	0,2	294	71,7	116	28,3	-	-	-	-	-	-	410
04 Capital	Gran San Juan 1	3.835	97,9	-	-	3.835	97,9	81	2,1	-	-	-	-	-	-	3.916
	Gran San Juan 2	4.596	81,4	47	0,8	4.643	82,2	931	16,7	5	0,1	-	-	5	0,1	5.579
	Gran San Juan 3	5.929	66,8	101	1,1	6.030	67,9	2.837	32,-	3	0,03	-	-	3	0,03	8.870
	Gran San Juan 4	4.188	66,9	26	0,4	4.214	67,3	2.036	32,5	7	0,1	2	0,03	9	0,1	6.259
	Gran San Juan 5	3.560	57,5	170	2,8	3.730	60,3	2.322	37,5	94	1,5	44	0,7	138	2,20	6.190
05 Cauca	Ciudad de Cauca	2.187	59,1	-	-	2.187	59,1	1.507	40,7	7	0,2	-	-	7	0,2	3.701
	Va. Independencia	26	14,1	-	-	26	14,1	157	85,3	1	0,6	-	-	1	0,6	184
06 Chibaa	Gran San Juan 1	1.764	48,5	146	4,-	1.910	52,5	1.707	46,9	24	0,6	-	-	24	0,6	3.641
	Gran San Juan 2	1.734	44,4	65	1,7	1.799	46,1	2.101	53,8	1	0,02	-	-	1	0,02	3.901
	Gran San Juan 3	124	22,2	6	1,1	130	23,3	428	76,5	1	0,2	-	-	1	0,2	559
09 9 de Julio	Las Chacritas	48	17,5	-	-	48	17,5	226	82,5	-	-	-	-	-	-	274
	Va. 9 de Julio	258	69,7	-	-	258	69,7	112	30,3	-	-	-	-	-	-	370
10 Pocito	Gran San Juan	191	18,2	-	-	191	18,2	854	81,7	1	0,1	-	-	1	0,1	1.046
	Va. Aberastein	576	40,2	-	-	576	40,2	852	59,4	6	0,4	-	-	6	0,4	1.434
	La Rinconada	115	39,-	2	0,70	117	39,7	177	60,0	1	0,3	-	-	1	0,3	293
	Carpintería	82	37,1	-	-	82	37,1	137	62,-	2	0,90	-	-	2	0,90	221
11 Navaco	Gran San Juan	8.530	54,9	268	1,7	8.798	56,6	6.725	43,3	22	0,1	2	0,01	24	0,1	15.547
12 Rivadavia	Gran San Juan	2.063	54,5	118	2,1	2.181	57,6	1.605	42,4	2	0,05	-	-	2	0,05	3.788
	Gran San Juan	1.290	45,6	48	1,7	1.338	47,3	1.490	52,6	2	0,1	-	-	2	0,1	2.830
	Gran San Juan	1.727	55,4	260	8,3	1.987	63,7	1.129	16,2	1	0,03	-	-	1	0,03	3.117
13 San Martín	Don Acepúas	42	29,2	-	-	42	29,2	102	70,8	-	-	-	-	-	-	144
	San Isidro	29	20,7	-	-	29	20,7	107	76,4	4	2,9	-	-	4	2,9	140
	Don Boaco	190	60,7	-	-	190	60,7	109	34,8	14	4,5	-	-	14	4,5	313
Transporte		43.864		1.261		45.125		28.637		209		50		261		74.024

TABLA 9-1 (Cont.)

CLASIFICACION DE LAS CONSTRUCCIONES SEGUN EL TIPO DE MATERIAL Y RESISTENCIA A SISMOS

DEPARTAMENTO	LOCALIDAD	De Mampostería						De Adobes						TOTAL GENERAL (3)		
		Sismorresistente		No sismorresist.		Subtotal (1)	Sismorresistente		No sismorresist.		Subtotal (2)					
		Cant. de (3)	% de (3)	Cant. de (3)	% de (3)		Cant. de (3)	% de (3)	Cant. de (3)	% de (3)						
	Transporte	43.864		1.264		45.128		28.637		209		50		261		74.024
14	Santa Lucía															
	Gran San Juan	3.578	56,2	91	1,4	3.669	57,6	2.689	42,3	7	0,10	-	-	7	0,10	6.365
	Alto de Sierra	181	24,9	-	-	181	24,9	547	75,1	-	-	-	-	-	-	728
15	Sarmiento															
	Ciénaguila	56	50,9	-	-	56	50,9	54	49,1	-	-	-	-	-	-	110
	Los Berros	171	35,9	-	-	171	35,9	295	61,8	11	2,3	-	-	11	2,3	477
	Va. Gral.Sarmiento	347	48,5	-	-	347	48,5	367	51,3	1	0,1	-	-	1	0,1	715
18	25 de Mayo															
	Va. Santa Rosa	193	49,4	2	0,5	195	49,9	194	49,6	2	0,5	-	-	2	0,5	391
	Va. Borjas	262	59,4	6	1,4	268	60,8	171	38,8	1	0,2	1	0,2	2	0,4	441
	La Chimbera	125	29,-	1	0,2	126	29,2	301	69,7	2	0,4	3	0,7	5	1,1	432
	TOTALES	48.777	58,3	1.364	1,6	50.141	59,9	33.255	39,7	233	0,3	54	0,1	289	0,4	83.683

TABLA 9-2
(Cont.)

CLASIFICACION DE LAS CONSTRUCCIONES SEGUN EL NUMERO DE PISOS

DEPARTAMENTO	LOCALIDAD	NUMERO DE PISOS																TOTAL		
		1		2		3		4		5		6		7		8			9 a 11	
		Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%		Cant.	%
14 Santa Lucía	Gran San Juan	6.324	99,3	40	0,6	1	0,01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.365	
	Alto de Sierra	727	99,8	1	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	728	
15 Sarmiento	Cleoguita	110	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	110	
	Los Berros	477	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	477	
	Va. Gral. Sarmiento	713	99,7	2	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	715	
18 25 de Mayo	Va. Santa Rosa	389	99,5	2	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	391	
	Va. Borjas	441	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	441	
	La Chimbera	432	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	432	
TOTALES		80.189	95,8	3.252	3,9	163	0,2	34	0,1	8	0,1	6	01	12	0,1	8	0,1	11	0,1	83.683

TABLA 9-3

DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACION DE EDIFICIOS

(Datos proporcionados por el INPRES)

E D I F I C I O				PERIODO FUNDAM.VIBRAC. T (sec)			
Denominación	Ubicación	Sector	N° Pisos	Antes Sismo 23-11-77		Después Sismo 23-11-77	
				Direc. N - S ○ S	Direc. E - O Δ	Direc. N - S ●	Direc. E - O ▲
INPRES	Roger Balet Desamparados	Tec.	3	0,19	0,19		
		Adm.	3	0,18	0,18	0,21	0,19
Monoblocks Para viviendas	Mitre y Alem	N.O.	4	0,20	0,17	0,21	0,17
		S.O.	4	0,21	0,17	0,21	0,17
		S.E.	4	0,20	0,17	0,20	0,17
		N.E.	4	0,20	0,17	0,20	0,16
Monoblocks Para viviendas	9 de Julio y Caseros	N.E.	9	0,43	0,37	0,57	0,46
		N.O.	9	0,43	0,36	0,50	0,43
		S.O.	9	0,43	0,37	0,60	0,47
		S.E.	9	0,44	0,39	0,53	0,48
Edificio Pignatari	Rivadavia y Caseros	Unico	8	0,28	0,27	0,32	0,31
Edificio San Juan (Cosma)	Mitre N°58-0	Unico	6	0,28	0,37	0,29	0,45
Edificio 9 de Julio	Mitre entre Jujuy y Abe- rastain	E	5	0,35	0,32	0,36	0,42
		I-E	5	0,43	0,36	0,49	0,45
		M	5	0,44	0,33	0,61	0,53
		I-0	5	0,44	0,38	0,48	0,45
Monoblocks Para viviendas	Santa Fé y Santiago del Estero	M-1	10	0,44	0,41	0,59	0,68
		M-2	10	0,46	0,38	0,54	0,48
		M-3	10	-	-	0,62	0,56
		M-4	10	-	-	0,59	0,48
Monoblocks Para viviendas	Rivadavia y Alem	M-1	10	0,48	0,35	0,52	0,43
		M-2	10	0,48	0,37	0,53	0,44
		M-3	10	0,48	0,36	0,57	0,44
Edificio San Miguel	Sarmiento en tre Mitre y Av.de la ROZA	Unico	7	0,30	0,33	0,33	0,40
O.S.N.	Catamarca y Av. de la Ro- za	S-Sur	3			0,43	0,45
		S-N	3				
Edificio Galería Estornell	Mitre 51-E Santa Fé	S-N	8			0,31	0,38
		S-S	8			0,35	0,53

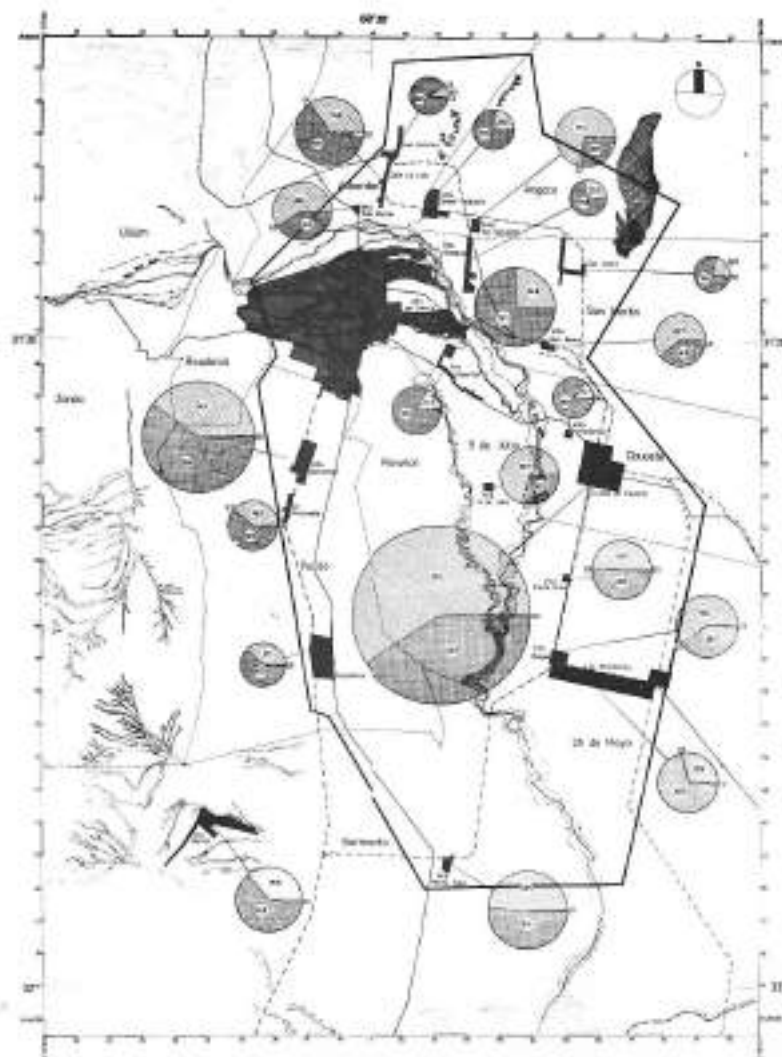
TABLA 9-3 (Cont. 2)

E D I F I C I O				PERIODO FUNDAM.VIBRAC. T (seg)			
				Antes Sismo 23-11-77		Después Sismo 23-11-77	
Denominación	Ubicación	Sector	N° Pisos	Direc.	Direc.	Direc.	Direc.
				N ○ S	E △ 0	N ● S	E ▲ 0
Barrio San Martín (C.G.T.) Torres para viviendas	Catamarca y Av. de Circunvalación	T-1	8			0,29	0,29
		T-1-B	8			0,31	0,30
		T-2-A	8			0,31	0,32
		T-2-B	8			0,29	0,28
Correo Central	Av.de la Roza e/Tucumán y Rioja	S-E	4			0,24	0,27
		S-C	4			0,36	0,27
		S-O	4			0,37	0,30
Edificio Banco Popular	Mitre y Gral. Acha	S-N	7			0,35	0,38
		S-S	7			0,30	0,33
Edificio Oficinas (Bienestar Social)	Rivadavia N°27-0	Unico	8			0,29	0,59
Edificio Banco Agrario	Rivadavia N°48-E	Unico	8			0,21	0,37
Edificio Zonda	Mendoza y La Prída		8	0,37	0,38	0,52	0,51
Esc.Industrial Sarmiento	Mitre y Aberastain	S-E	3			0,24	0,22
		S-C	3			0,24	0,22
		S-O	3			0,22	0,20
Caja Jubilaciones	Mitre 647-E		5			0,31	0,43
Municipalidad de San Juan	Mitre y Caseros		4			0,26	0,36
D.G.I.	Mendoza esq. I.de la Roza	Unico	4			0,24	0,22
B.H.N.	I.de la Roza y Jujuy	Unico	8	0,42	0,49	0,54 0,35*	0,68 0,62*
Edificio Anguastasto	Lib.San Martín y Mendoza	Unico	5	0,31	0,28	0,35	0,30
Edificio Ing. H. Sánchez	Gral. Acha 10-S	Unico	7			0,34	0,24
Edificio San Martín	Mitre 94-0	Unico	6	0,19	0,29	0,21	0,33






TABLA 9-3 (Cont. 3)

E D I F I C I O				PERIODO FUNDAM.VIBRAC. T (seg)			
Denominación	Ubicación	Sector	N° Pisos	Antes Sismo 23-11-77		Después Sismo 23-11-77	
				Direc. N - S O	Direc. E - O Δ	Direc. N - S ●	Direc. E - O ▲
Edificio Comesa	Santa Fé y Grs. Acha	Unico	5			0,27	0,25
Edificio Huarpes viviendas	Santa Fé y Mendoza	Unico	7			0,41	0,44
Edificio departa- mentos (Plana)	Rivadavia y Sarmiento	Unico	7			0,28	0,38
Edificio departa- mentos	25 de Mayo y Entre Ríos	Unico	6			0,30	0,32
Edificio Rivada- via	Rivadavia 269-0	Unico	7			0,26	0,28
Edificio Seran- tes	Córdoba y Gral.Acha	Unico	4			0,31	0,24
Edificio Talacas- to	Tucumán 213- 237-S	C-N	7			0,33	0,46
		C-S	7			0,35	0,46
Hotel Estornell	Mitre 31-E		6			0,24	0,35
Bolsa de Comer- cio	Gral.Acha 278-S	Unico	5			0,29	0,26
Galería Rivada- via	Rivadavia 269-E	Unico	7			0,37	0,40

* Posterior a su consolidación.



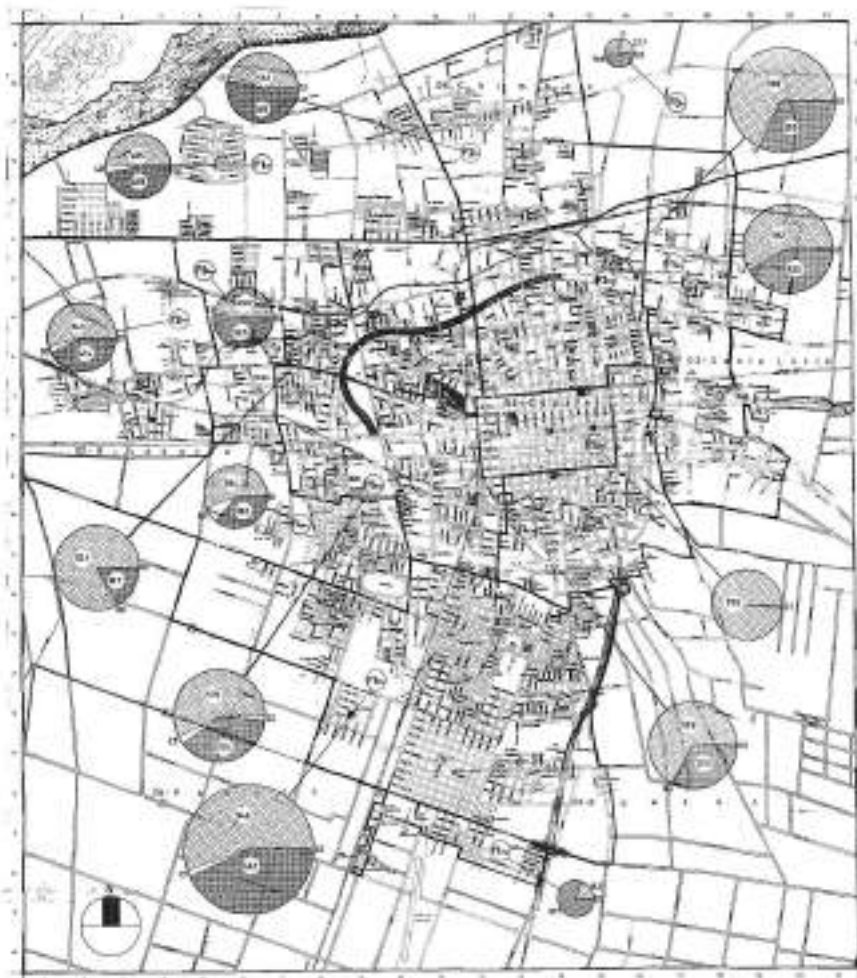
REFERENCIAS

-  De mampostería sismo resistente
-  De mampostería no sismo resistente
-  De adobe
-  De otro tipo
-  Superficie: 1 cm² = 10 Construcciones






-  LOCALIDADES
-  GRAN SAN JUAN (ver figura 11-3)

0 5 10 20 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -	
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA	VALLE DE TULUM : CONSTRUCCIONES SEGUN EL TIPO DE MATERIAL Y RESISTENCIA A SISMOS
Gh-Nafé-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES SRL	Figura 9-1



REFERENCIAS

-  De mampostería sismo resistente
-  De mampostería no sismo resistente
-  De adobe
-  De otro tipo
-  Superficie : 1cm² = 100 Construcciones



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN - REPUBLICA ARGENTINA	GRAN SAN JUAN : CONSTRUCCIONES SEGUN EL TIPO DE MATERIAL Y RESISTENCIA A SISMOS	Figura 9-2
Gili-Nafá-Zamarrón INGENIEROS CONSULTORES SRL		

10.0. USO DEL SUELO Y TENDENCIAS DE DESARROLLO FUTURO.

10.1. Introducción.

El clima de la Provincia de San Juan, se puede ubicar dentro del grupo mundial de climas áridos (veranos calurosos, inviernos moderados y escasa precipitación pluvial). En la región, ningún cultivo es factible sin obra de riego, sea ésta resultado de la extracción de agua subterránea o la / conducción del derrame natural del recurso hídrico superficial, excepción hecha de las zonas con depresiones que reciben agua de escurrimiento o subirrigación.

Los vientos predominantes son del sur y suroeste. Los vientos del norte son cálidos y secos y producen una intensa evaporación de las aguas. El viento Zonda, del sector nor-noroeste, sopla durante todo el año pero es más frecuente de agosto a noviembre. Es cálido y seco y provoca un brusco descenso de presión y con su masa cálida, altera la temperatura normal de la época.

La provincia, situada hacia el centro-oeste del país, pertenece en su totalidad territorial a la zona árida. Limita al norte y al este con la Provincia de La Rioja, al sur con Mendoza y San Luis, mientras que al oeste la Cordillera de Los Andes es el límite natural con Chile, lo que conforma un accidentado perfil montañoso que cubre aproximadamente el 80% de su territorio.

10.2. Estructura provincial.

Las estribaciones de la Cordillera se ramifican determinando cordones montañosos que encierran los distintos valles donde se desarrollan actividades humanas. Estos valles están ubicados a diferentes niveles con respecto al mar (entre 600 y 3000 m) y presentan características propias que los distinguen entre sí, abarcando un total de 21.000 km² /

de superficie, sobre un total de 92.789 km² de la provincia.

El más importante de todos por sus recursos naturales y por el desarrollo alcanzado, es el Valle de Tulum que tiene una superficie aproximada de 7.830 km². Se encuentra ubicado a poco más de 600 metros sobre el nivel del mar, conformando una faja que se extiende de norte a sur, encerrada por las montañas de la Precordillera y de las Sierra Pampeanas.

El río San Juan atraviesa el valle proporcionándole sus caudales para riego, pero las tierras aptas cubren un área que excede en más de dos veces lo que puede cultivarse con los aporte naturales de este río, ya que su comportamiento inestable hace variar sus caudales entre 15 m³/seg y 1.000 m³/seg, según datos registrados en el último siglo.

Es importante destacar que el 90% de la población de San Juan se asienta en los valles aluvionales de este río (Tulum, Ullum, Zonda).

Otro de los valles naturales, importante por sus recursos naturales es el de Jáchal. Ubicado al norte de San Juan, este Valle es irrigado por el río Jáchal.

Dentro de la denominada "depresión Barreal-Rodeo", encajonada entre la Cordillera de Los Andes y la Precordillera, que la limitan por el oeste y el este respectivamente, se encuentran los valles de Iglesia y de Calingasta, semejantes por su relieve. El valle de Iglesia ubicado al norte de la Provincia, cubre una superficie de 460 km² y tiene cursos de agua de origen nival. El valle de Calingasta de 550 km² de superficie, sobre un total de 22.600 km² del Departamento, constituye con el de Iglesia el área más extensa y de menor densidad de población de la provincia.

Cabe destacar por último el Valle Fértil, ubicado en el extremo este de la provincia, con una altura sobre el nivel del mar de 1.000 metros y una superficie de 2.140 km²;

este valle se ve favorecido por precipitaciones pluviales periódicas, único caso en la provincia.

Finalmente hacemos notar que entre las Sierras de Valle Fértil y el Cerro del Pie de Palo se encuentra el Valle del Bermejo, ocupa el segundo lugar en la provincia y recibe el nombre del río que lo atraviesa.

10.2.2. Consideraciones sobre el uso del suelo en la provincia.

Valle de Jáchal: la actividad agrícola desarrollada en este valle ocupa las tierras más fértiles según las posibilidades de agua, distribuidas por canales de riego. El único dique para regular parte del curso de agua es el existente en el Valle de Huaco, donde el nivel de actividad no alcanza valores similares a otros estados históricos conocidos.

Si bien la ocupación del área agrícola es concentrada, aunque productivamente es dispersa, notamos que la población tiende a estructurarse linealmente, sobre vías de tránsito. El uso más intensivo del suelo urbano se desarrolla en la ciudad de Jáchal, donde se centralizan las actividades de servicio para el área rural, existiendo algunas actividades industriales y disponiendo de fácil accesibilidad a la ciudad de San Juan. El intento de distintos planes de desarrollo para la provincia de San Juan, consideran a Jáchal como "puerto seco" con una salida al océano Pacífico, reponiéndole el papel que en algún momento de su historia le correspondió.

Valle de Iglesia: su área de producción agrícola, estimada en 5.050 hectáreas, se estructura en agrupamientos interconectados de manera lineal por una vía principal, que lo vincula con la ciudad capital y otras con los departamentos de Jáchal y Calingasta. Estas vías de comunicación

dan lugar también a los asentamientos poblacionales, adaptándose a la topografía accidentada, otorgándole una pintoresca característica, en donde la localidad de Rodeo constituye el centro urbano y de servicio más importante. La actividad agrícola se complementa con las potenciales posibilidades de un mayor aprovechamiento turístico de las aguas termales de Pismanta, conocidas mundialmente y de la conexión con el Pacífico por el Paso de Agua Negra, que permitirían la salida de productos provenientes del noreste del país.

Valle de Calingasta: La única ruta pavimentada, que comunica el Valle de Calingasta con el Valle de Tulum, estructura en forma lineal las actividades agrícolas y los asentamientos poblacionales, ocupando aproximadamente / 4.800 hectáreas, que se concentran primordialmente en las localidades de Barreal, Sorocayense, Tamberfías y La Isla. La explotación agrícola y forestal se ve incrementada en este Valle por la actividad industrial que se lleva a cabo / por establecimientos dedicados a la molienda del sulfato de aluminio, bentonita y magnesio y sus correspondientes actividades extractivas.

Valle Fértil: sus usos del suelo son en general de tipo agroganaderos extensivos, con un centro poblado importante (Villa San Agustín), conectado con el Valle de Tulum y La Rioja conformando un sistema vial principal que interconecta localidades de menor importancia, como Astica, Chucuma, Usno y Baldes del Rosario, con estancias adyacentes a ellas. Cabe mencionar como atractivo turístico y científico la existencia de un importante yacimiento fósil en Ischigualasto.

En síntesis, los valles descriptos, conjuntamente con los valles de Tulum, Ullum y Zonda y la potencialidad latente del desarrollo de la minería en territorio departamental de Jáchal, Iglesia, Calingasta y Valle Fértil, constituyen

La base territorial económica para el desarrollo de la provincia de San Juan, supeditada a las políticas y objetivos que en tal sentido se implementen.

Esta breve reseña pretende ubicar al Valle de Tulum, motivo del trabajo, dentro de los límites del contexto provincial, a fin de interpretar más coherentemente el rol que le corresponde en las circunstancias actuales y futuras, pero en definitiva estrechamente vinculado al devenir de la provincia en su conjunto.

10.3. Evolución de la utilización del suelo.

Se justifica el asentamiento inicial de grupos poblacionales dentro del Valle de Tulum, por razones estratégicas de ubicación y defensa en primer término y de explotación económica para consolidar el asentamiento en segundo término.

En función de estas razones, el uso del suelo se efectúa básicamente para explotaciones agrícolas y de éstas prevalecen, por caracteres de rendimiento económico, la fruticultura y las plantaciones hortícolas. La industria sólo se desarrolla para estos productos y en consecuencia lo único destacable es la vinicultura. Se dispersan establecimientos por las zonas de producción, lo que trae aparejado un equilibrio en el desarrollo del Valle de Tulum, del cual comienzan a destacarse algunos pequeños centros sub-urbanos directamente en función de la mayor bondad para la explotación / del suelo con vides.

Razones políticas de gobiernos provinciales y nacionales y económicas del desarrollo regional y nacional, reafirman a San Juan en su función de origen consolidando el monocultivo, la dependencia económica casi exclusiva en manos de la vitivinicultura y el establecimiento de un núcleo poblacional urbano único, absorbente, administrativo y poco /

productivo.

El aspecto físico del núcleo ordena la ubicación general de cultivos y del centro de la población del valle. Los establecimientos industriales están diseminados en función de la explotación agrícola y sin evaluar la conveniencia del suelo de implantación.

10.4. Valle de Tulum.

Siendo la agricultura la base económica de la Provincia de San Juan, y el limitado recurso hídrico su problemática elemental, es lógico que el almacenamiento y racional distribución del agua de riego como así también la construcción de obras de drenaje, sean motivo de especial interés y dedicación con vistas al máximo rendimiento permitiendo el saneamiento del suelo de este valle, con miras a un mejor y más redituable aprovechamiento.

El Valle de Tulum conforma una alargada franja con / sentido norte-sur en el centro de la provincia, con una longitud aproximada de 100 km y un ancho variable entre 5 y 50 km, abarcando una superficie de 323.000 hectáreas.

Entre canales principales y secundarios, la red de / riego del Valle de Tulum tiene una longitud de 1.616 km, de los cuales la tercera parte se encuentran impermeabilizados y el resto en tierra, con significativa pérdida de // caudal.

Como obra hídrica de trascendente importancia, se encuentra la presa de embalse Quebrada de Ullum, con relevante incidencia en la consolidación del sistema de riego del Valle.

El Valle de Tulum presenta en el aspecto natural de su suelo, la identificación de cualquier región árida, de clima rigurosos y de formación aluvial por la acción de ///

de transporte del río San Juan y derrubios coluviales de las formaciones montañosas que lo rodean.

Los suelos ubicados en los sectores oeste, este y nor-este del valle, presentan diferenciaciones y se originan en formaciones coluviales por arrastres aluvionales. En el límite este del valle los suelos son profundos, de texturas gruesas y a veces con gravilla. Estos son los que se encuentran adosados a la Sierra de Pie de Palo.

En cuanto a los suelos de los sectores oeste y noreste, son someros, con rodados, gravas o gravillas superficiales. Son los suelos adosados a las Sierras Chicas de Zonda Villicum, Lomas del Salado y antiguo cono aluvial del río San Juan.

En el centro del valle existen suelos orgánicos con napa freática próxima a la superficie, pertenecientes a una antigua zona palustre.

Desde el punto de vista de productividad, la variedad de suelos descripta afecta directamente los niveles de rendimiento de los cultivos practicados en el Valle de Tulum, especialmente los viñedos.

Los mejores rendimientos se han detectado en Santa Lucía, Cauçete, 25 de Mayo y 9 de Julio, superando en general los valores del Valle en promedio (98,5 Qq. por Ha). considerados los más altos del mundo.

La superficie promedio por unidad en el total del país es de 5,4 hectáreas mientras que en Mendoza es del 7,5 hectáreas y en San Juan de 4,3 hectáreas. Esta tendencia al minifundio en el Valle de Tulum agravado por el monocultivo, condiciona desfavorablemente su desarrollo económico actual y potencial, compensado en parte por el alto índice de rendimiento en la producción de las propiedades que permite la subsistencia del pequeño viñatero.

La economía sanjuanina se caracteriza por su comportam

miento "cíclico", con tasas anuales de crecimiento disímiles e incluso años con tasas fuertemente negativas en su / Producto Bruto(P.B.).

Los ciclos de aumento y disminución de su P.B. y el escaso crecimiento, son consecuencia de una estructura productiva dependiente casi exclusivamente de una sola actividad: la vitivinicultura. Por eso cuando esta acusa periódicas crisis, derivadas de problemas de precios, el P.B. se ve afectado y fluctúa en función del desenvolvimiento de / dicha actividad.

Los asentamientos poblacionales en el Valle de Tulum guardan una estrecha relación con las tierras de mayor calidad para el cultivo. Partiendo de la división política / departamental, los núcleos más importantes son las cabeceras de los mismos, con predominio por supuesto del departamento Capital.

Las cabeceras de departamentos y su zona urbana con Chimbos al norte, Santa Lucía al este, Rawson al sur y Rivadavia al oeste, conjuntamente con el departamento Capital, constituyen actualmente el Area del Gran San Juan, que alberga el 62,6% de la población de la provincia, mientras / que el Valle del Tulum contiene el 88,9% de la misma según datos provisorios del Censo 1980.

Se ha confeccionado la Figura 10-1 en la cual se indica gráficamente la distribución de población a través de la cantidad de habitantes en la superficie ocupada (densidad de población). La distribución de la población en el Valle de Tulum, presenta en resumen seis formas: 1) distribución en las parcelas de producción; 2) semi agrupada en el área de producción; 3) semiagrupada perimetral al área de producción; 4) agrupada en el área de producción; 5) agrupada en / núcleos urbanos y 6) la población del área metropolitana. Si bien cada una de ellas posee sus propias particularidades, tanto físicas como socio-económicas, el hecho de estar

relativamente próximas unas de otras y de poseer buena accesibilidad, provoca cierta homogeneidad en dichos aspectos, excepto la población del área metropolitana que es el único centro con perfil propio aunque heterogéneo.

En lo que respecta a las actividades de los asentamientos poblacionales del Valle de Tulum, el Gran San Juan asume el rol de núcleo de máxima complejidad, prestando los servicios administrativos, comerciales, recreativos, educativos y sanitarios en todo el valle. Lo expresado queda claramente manifiesto en la Figura 10-2 en la cual se indican gráficamente las distribuciones de uso poblacional del suelo y las de uso agrícola que detecta el estudio realizado. En el Gran San Juan, el área residencial es la mayor extensión, con alta dispersión en la trama urbana y con baja densidad (85 habitantes por hectárea como densidad predominante).

10.5. Población y vivienda.

El crecimiento poblacional de San Juan, se encuentra íntimamente vinculado con los cambios producidos en su estructura económica, que comienza en su consolidación con el desarrollo de la vitivinicultura a partir de 1895. Comparado con el país, la Provincia de San Juan presenta un crecimiento superior en 1914-1947, invirtiendo la tendencia a partir de 1960.

En lo referente al comportamiento poblacional interno de la provincia, el mismo se estructura en el sistema de valles ya descritos, expresando los datos censales el progresivo aumento del Valle de Tulum en detrimento de los restantes, como consecuencia del impulso al desarrollo vitivinícola.

De 1947 a 1960 la tasa de crecimiento del Valle de Tulum es la única que supera a la de la provincia. Los otros

valles excepto Jáchal, muestran una tendencia decreciente mientras que Iglesia pierde población en valores absolutos. En este período se consolida la atracción del Valle de Tulum con respecto a los restantes, afectando la distribución espacial de la población.

En lo referente a la dinámica poblacional dentro de los departamentos que integran el Valle de Tulum, el efecto del Area del Gran San Juan es similar al que produce este valle sobre el resto de la provincia, evidenciándose en el análisis de sus tasas intercensales en los mismos períodos de tiempo. En líneas generales se puede afirmar que el crecimiento poblacional del Valle de Tulum expresa una tendencia homogénea, con excepción del período 60-70 y que sirve de referencia para el comportamiento en el resto de la provincia.

Mientras que el área rural denota en el período 1914-1980 un crecimiento saludable en sus comienzos, luego declina a valores de estancamiento e inclusive de tasas negativas.

El Valle de Tulum contiene el 91,8% del total de las viviendas de la provincia, mientras que el Gran San Juan con respecto al valle posee el 74,2%. Se trata en general, de viviendas unifamiliares en planta baja, con algunas excepciones en el departamento Capital que posee viviendas colectivas en altura, de no más de diez pisos.

En cuanto al tamaño de las aglomeraciones urbanas del Valle de Tulum y su evolución en el tiempo, considerando como tales a aquellas con 2.000 o más habitantes, los datos censales demuestran que en 1914 el valle contaba con tres centros y 21.484 habitantes; en 1947 se llega a siete centros con 115.836 habitantes; en 1960, once centros con // 177.631 habitantes, situación que se mantiene en 1970 en // cuanto a cantidad de centros pero llegando la población urbano a 232.846 habitantes.

Los datos provisorios del Censo 1980 determinan la // existencia de trece centros con un total de 323.562 habitan

tes, que representan el 76,3% de la población del valle.

En resumen, la población del Valle de Tulum se distribuye: un 76,3% en centros urbanos con más de 2.000 habitantes, el 3,5% en centros de jerarquía menor distribuidos en el área rural y el 20,2% dispersa en la zona de cultivos.

10.6. Tendencias actuales de crecimiento.

10.6.1. Uso agrícola.

La probabilidad del crecimiento en la agricultura está limitada por la disponibilidad de agua para riego. Las plantaciones permanentes sólo tienen las fluctuaciones propias de los cambios por envejecimiento y renovación, siendo pocos los casos de modificación o cambio de cultivos. El único incremento válido en este sentido ha sido / producido por la plantación de bosques de árboles (álamos y pinos), pero en general fuera del Valle de Tulum.

Las plantaciones anuales se efectúan también con las variaciones propias del tipo de cultivo en función del rendimiento económico pero no altera ni muestra crecimiento en la superficie plantada que sea significativo como para establecer tendencia. Concretamente es posible considerar en estado de equilibrio el actual uso del suelo en función agrícola.

En el Valle de Tulum no pueden preverse modificaciones sustanciales, en este sentido, quizás lo más importante es planificar y concretar la mejor utilización y el mayor rendimiento del limitado y variable recurso hídrico superficial y subterráneo disponible.

10.6.2. Uso industrial.

Se han establecido zonas destinadas a la radicación industrial tendientes a establecer físicamente un uso del suelo con este fin. Sin embargo la tendencia cierta sigue siendo la consolidación de las construcciones industriales (generalmente vitivinícolas) en directa relación con las zonas de producción agrícola (viñedos). Los establecimientos industriales de otro tipo se caracterizan por su escasa significación en el producto provincial.

En este rubro es en el cual se deben establecer políticas definitorias que logren concretar en realidad el anhelo de la diversificación económica. Sin embargo no hay tendencias visibles que muestren tal diversificación ni pueden esperarse en el corto o mediano plazo cambios al respecto en el Valle de Tulum. La posibilidad está dada por la influencia que puede tener un desarrollo cierto de la minería que aún cuando se establece fuera de este valle tendrá seguramente su influencia en la radicación industrial necesaria.

10.6.3. Uso Habitacional.

Como ya se estableciera anteriormente, la concentración poblacional en el Valle de Tulum se caracteriza por la existencia de un área metropolitana que contine más del 60% de la población provincial y más del 70% de la población radicada en el Valle.

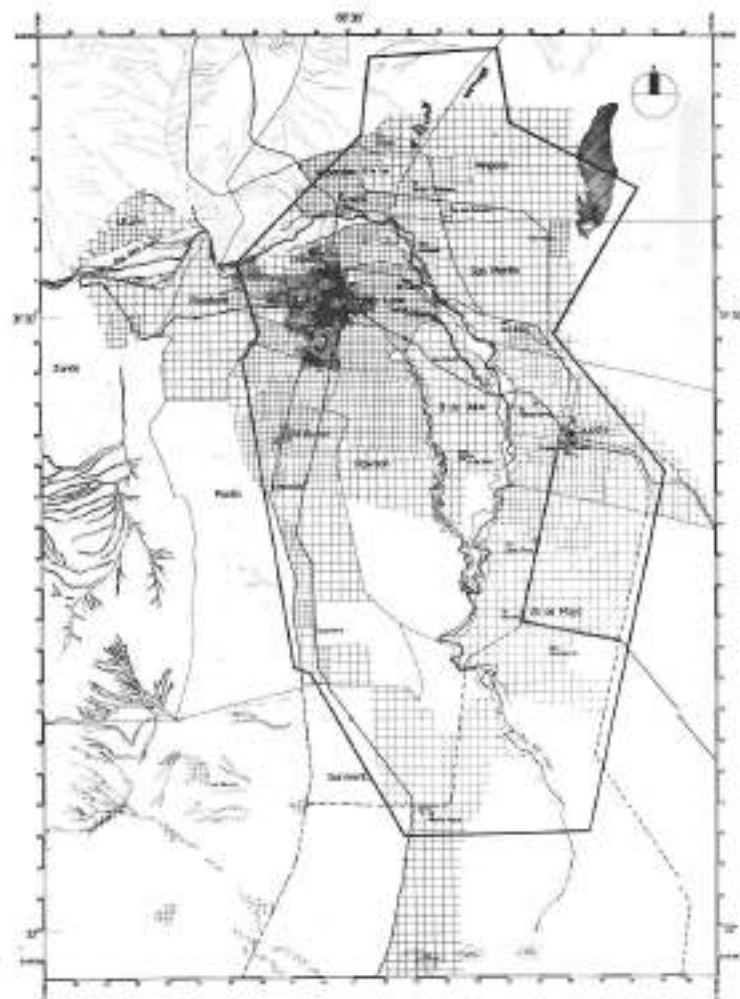
Este sector poblado ha ido creciendo hasta los porcentajes indicados, a los que se llega en los años 1970. Aún cuando la tendencia ha sido ésta, se estima que no podrá continuar en el mismo sentido y a partir de ahora aparece iniciado el desarrollo poblacional de centros perimetrales al área metropolitana.

10.7. Conclusiones.










En lo que respecta al uso del suelo puede concluirse que:

- Históricamente, se generó un asentamiento poblacional como elemento estratégico de defensa (San Juan de la Frontera), con la máxima actividad concentrada en el Valle de Tulum, desde donde se produce el desarrollo de la provincia.
- Las actividades agrícolas se desarrollaron en función del aprovechamiento de los limitados recursos hídricos existentes, con paulatino crecimiento de las áreas de producción, originando la conformación de nuevos asentamientos.
- Se ha producido un uso intensivo del suelo agrícola con / marcada relevancia del monocultivo y del minifundio en la subdivisión de la tierra, lo que determina en el transcurso del tiempo un comportamiento "cíclico" de la estructura económica.
- Se ha estabilizado el límite de desarrollo agrícola, acelerándose el proceso de crecimiento urbano y la formación de un área metropolitana, mientras que paralelamente se acentúa una migración negativa.
- La concentración poblacional en el Valle de Tulum se caracteriza, excepción hecha del área metropolitana, por la baja densidad de la población urbana. La emigración de la población rural se produce casi exclusivamente hacia el Gran San Juan, provocando una extensa despoblación en el área rural de producción.
- Existe un significativo déficit habitacional en las zonas urbana y rural, agravado por la acción destructiva del sis

mo de 1977, que pone en peligro la armónica distribución de población, motivando el éxodo de la zona rural.



REFERENCIAS

-  De 0 a 10 habitantes/km²
-  De 10 a 50 habitantes / km²
-  De 50 a 100 habitantes / km²
-  De 100 a 500 habitantes / km²
-  De 500 a 1500 habitantes/km²
-  De 1500 a 3000 habitantes / km²
-  De 3000 a 6000 habitantes / km²
-  De 6000 a 9000 habitantes / km²
-  De 9000 a 12000 habitantes / km²

0 5 10 20 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA	VALLE DE TULUM DENSIDAD POBLACIONAL	Figura 10-1
Gil-Nata-Zambrido INGENIEROS CONSULTORES SRL		

11.0. DAÑOS PROBABLES EN LAS CONSTRUCCIONES.

11.1. Objetivo.

Esta tarea tiene como objetivo desarrollar una técnica que nos permita estimar cualitativamente el potencial de daño en el área, teniendo en cuenta, en forma combinada, el nivel máximo más probable del movimiento del terreno para un dado intervalo de tiempo, las condiciones del subsuelo y el tipo de construcción.

Para ello se deben considerar cuatro tópicos fundamentales que son: la caracterización del movimiento del terreno, la estimación del comportamiento del mismo ante el efecto sísmico, la determinación de las características estructurales y la evaluación del daño potencial.

11.2. Caracterización del movimiento del terreno.

Mediante el análisis de exposición sísmica que se describe en el Capítulo 6, se estimaron las probabilidades de ocurrencia de los diferentes niveles de movimiento del terreno en cualquier sitio ubicado dentro de la zona bajo estudio. Estos valores del movimiento del terreno pueden ser utilizados conjuntamente con las fuentes sísmicas que influyen en forma significativa a la exposición en un sitio dado, como base para seleccionar los rangos de las amplitudes del movimiento del terreno que permitan evaluar el daño potencial.

Basándonos en los resultados de las investigaciones geológicas (Capítulos 3, 4, y 6) de la sismicidad histórica (Capítulo 5), del análisis de exposición sísmica (Capítulo 6), en el comportamiento estimado y en algunos casos comprobado, de las estructuras existentes en la zona, se seleccionaron los siguiente rangos de amplitudes (en términos de aceleración máxima) como los más apropiados para representar

la severidad del movimiento del terreno,

- Rango 1 : 0 a 10% g
- Rango 2 : 10 a 20% g
- Rango 3 : 20 a 35% g
- Rango 4 : 35 a 50% g

Se adoptaron las aceleraciones pico correspondientes a un período de retorno de 50 años, por cuanto se considera un valor adecuado para la vida útil de las construcciones existentes en la zona, teniendo en cuenta que: (1) durante esta investigación se han analizado todos los posibles peligros sísmicos que pueden afectarlas, disminuyendo de ese modo la incertidumbre debido a variables no consideradas; (2) la evaluación de cada peligro sísmico lleva implícito un cierto grado de conservatismo, que aunque individualmente sea pequeño, al considerarlos en conjunto provee un grado aceptable de seguridad; (3) actualmente la tendencia es aceptar 50 años como período de retorno correspondiente a la vida útil de las construcciones más comunes. Evidentemente para construcciones de características especiales que impliquen riesgos de mayor importancia, se deben adoptar las aceleraciones correspondientes a períodos de retorno mayores.

Como el Valle de Tulum está ubicado adyacente a la Falla de la Precordillera, que resultó ser la más sísmicamente activa de las estudiadas, los niveles de exposición sísmica en el valle son los máximos para la provincia. Debido al bajo grado de atenuación del movimiento con la distancia y al hecho de que la falla tiene rumbo N-S y buza hacia el valle, los niveles de exposición resultan relativamente uniformes dentro del mismo.

Como surge de la Figura 6-3, una franja alargada en / dirección norte-sur, ubicada en el límite oeste de la zona

bajo estudio se encuentra afectada por el rango de exposición 4 y el resto del valle por el rango 3. Además, los resultados del análisis de exposición sísmica, indican que para todos los niveles de probabilidad la exposición sísmica cerca de dicha falla está dominada por movimientos resultantes de terremotos superficiales de magnitud 6 1/2 a 7.

11.3. Estimación del comportamiento del terreno.

Las condiciones del subsuelo en la zona bajo estudio se describen en el Capítulo 7. Como allí se expresa, predominan en el valle tres zonas o tipos de suelos a saber:

Tipo A : Depósitos de cono aluvial

Tipo B : Depósitos de llanura aluvial

Tipo C : Zona de transición

El espesor de los estratos y las características de los materiales en cada zona varían dentro de un cierto rango, al igual que los niveles del agua subterránea. Por otra parte los estudios de respuesta del terreno y la correlación de su comportamiento y el de las construcciones durante los terremotos destructivos, para cada área en las que predominan las distintas condiciones del subsuelo arriba mencionadas, indican la existencia de diferencias significativas.

Para arribar al objetivo de la estimación del potencial de daños en las construcciones, utilizaremos las tres condiciones del subsuelo antedichas como unidades distintas para la confección de mapas.

11.4. Características de las construcciones.

La caracterización de las construcciones fue descrita en el Capítulo 9. De acuerdo a los resultados obtenidos y según se expresa en 9.4, podemos afirmar que predominan dos tipos de construcciones: las de mampostería, que representan un 59,9% del total y las de adobe que suman un 39,7% las de otro tipo alcanzan al 0,4% del total.

Con el objeto de agrupar las construcciones existentes en la zona bajo estudio teniendo en cuenta su respuesta dinámica y el potencial de daño que pueden estar sujetas, consideramos las siguientes categorías (Tabla 9-1).

Tipo I: Construcciones de adobe

Tipo II: Construcciones de mampostería

a) Sismorresistentes

b) No sismorresistentes

Tipo III: Otros tipos

a) Sismorresistentes

b) No sismorresistentes

La distribución de los distintos tipos de edificios en los núcleos urbanos existente en el valle, se puede apreciar en las Figuras 9-1 y 9-2 y en la Tabla 9-1.

11.5. Evaluación del daño potencial.

El daño potencial asociado a cada tipo de construcción para un conjunto dado de movimiento del terreno y condiciones del subsuelo, puede expresarse mediante una relación directa entre severidad del movimiento y daño.

Para determinar esa relación se puede hacer uso de la experiencia recogida durante terremotos destructivos ocurridos en la región y tener en cuenta además, el comportamien-

to de construcciones similares, ubicadas en otras áreas sísmicas con condiciones del subsuelo semejantes.

Como primer medida es necesario definir que se entiende por daño. Al hacer una evaluación de daños probables, esta puede realizarse con fines exclusivamente económicos, o sea orientados a cuantificar las probables pérdidas monetarias, destinada sobre todo a integrar estudios para compañías aseguradoras, o también, puede hacerse con fines de preparación para desastres y planes de emergencia (defensa civil) en cuyo caso, más que la cuantificación económica de las pérdidas, interesan los posibles colapsos que puedan originar víctimas y/o dejar a las personas sin albergue.

Considerando los objetivos generales de este proyecto, en la metodología propuesta originalmente se aconsejó la segunda alternativa.

Por tal motivo, de aquí en más cuando en este estudio se hable de daño, debe asociárselo con el colapso total de la construcción y/o colapso parcial de elementos estructurales tales como muros u otros elementos portantes, techos, fundaciones, etc., cuya falla afecta severamente a la estructura, poniendo en peligro la integridad de los ocupantes de la construcción.

Esto concuerda con los requisitos considerados en la filosofía del diseño sismorresistentes de la mayoría de los códigos vigentes, según se expresa en 9.5.

Respecto a las construcciones de adobe (tipo I) mucho es lo que se ha escrito acerca de su incapacidad de soportar las sollicitaciones provocadas por terremotos que van de moderados a intensos. A pesar de ello y debido a razones de índole socioeconómico continúa siendo un material de uso difundido en zonas rurales de numerosos países con elevado nivel de peligrosidad sísmica, sobre todo en zonas de Medio Oriente, América Central y del Sur y aún en China. Los patrones de daños de las construcciones de adobe han sido descrip

tos en numerosas publicaciones, (Zamarbide 1971, 1976; Vargas N. 1978; 7th WCEE 1980; etc.), por lo que no creemos necesario reiterarlos aquí, aunque sí podemos mencionar que los principales factores que contribuyen al daño son: el elevado peso de ese tipo de construcciones, la escasa o nula resistencia del adobe al corte y a la tracción, la falta de adecuadas uniones entre las distintas partes de la construcción, etc. (ver 9.2.2).

Basados en la experiencia recogida en oportunidad de la ocurrencia de varios terremotos destructivos, en los que la mayoría de las víctimas se produjeron como consecuencia del colapso de viviendas rurales de adobe, sobre todo en lo sucedido durante el terremoto de Cauce del 23/XI/77, y en los correspondientes niveles que alcanzó el movimiento / del suelo en esas ocasiones, es posible relacionar los daños de este tipo de edificios con el nivel del movimiento del / terreno. Para ello en los casos en que no se obtuvo registro de las amplitudes del movimiento, se estimó el valor de la aceleración pico mediante las intensidades IMM reportadas, a través de las diversas relaciones empíricas existentes.

Considerando solamente los efectos vibratorios, podemos decir que en general, para el rango de amplitud 1 del movimiento del terreno ($a_{m\acute{a}x}$ de 0 a 10% de g) no se producirán colapsos de construcciones de adobe, aunque algunas pueden sufrir algún tipo de deterioro leve. Para el rango 2 se producirán averías moderadas generalmente del tipo de grietas, existiendo la posibilidad de que se produzcan algunos casos aislados de colapsos parciales debidos a las características especiales de esas construcciones. Ya para el rango 3 serán numerosas las construcciones dañadas, con profusión de colapsos parciales y varios casos de colapsos totales. Para el rango 4 consideramos que toda construcción de adobe colapsará, o sea el daño que sufrirá esta clase de construcciones será total.

En cuanto a las construcciones de mampostería construídas sin provisiones sismorresistentes (sin refuerzos o encadenados de hormigón armado), podemos decir que dadas / sus características de construcción rígida y frágil resulta poco apta para su uso en zonas de elevada actividad sísmica. Dentro del rango 1 no se producirán en general daños, salvo algunos casos aislados de deterioros consistentes en agrietamientos pequeños.

En el rango 2 serán más frecuentes los casos de // agrietamientos.

Para el rango 3 se originarán daños importantes, pudiendo ocurrir varios casos de colapsos parciales y/o totales. Dentro del rango 4 los daños serán graves, produciéndose numerosos casos de colapso parcial y varios de colapso total.

Con respecto a las construcciones de otro tipo, tendrán un comportamiento que dependerá de sus características sismorresistentes. Así las que han sido clasificadas como no sismorresistentes, podrán asimilarse a las construcciones de mampostería no sismorresistentes. En cambio las clasificadas como sismorresistentes, se pueden asimilar a las / del tipo II-a.

En las construcciones de mampostería sismorresistentes, de acuerdo a lo expuesto en 9.5 no deberían producirse colapsos para cualquiera de los rangos de movimiento del terreno seleccionados. Sin embargo para tener en cuenta la incertidumbre dependiente de diversos factores que pueden afectar a la seguridad de la construcción (de proyecto, constructivos, de materiales utilizados, etc.) consideraremos que una pequeña cantidad de construcciones de este tipo (estimada en un cinco por ciento del total) sufrirán colapso, para el rango 4 del movimiento del terreno.

La Tabla 11-1 resume todo lo anteriormente expuesto /

respecto a daño de los distintos tipos de construcciones.

En lo referente a la categorización del daño potencial se adoptó la siguiente clasificación:

Potencial de Daño

- DB = Daños Bajos: 0 a 5% de las construcciones sufrirán colapso parcial o total
- DM = Daños Moderados: 5 a 25% de las construcciones sufrirán colapso parcial o total
- DI = Daños Importantes: 25 a 50% de las construcciones sufrirán colapso parcial o total
- DA = Daños Altos: 50 a 75% de las construcciones sufrirán colapso parcial o total
- DMA = Daños muy Altos: 75 a 100% de las construcciones sufrirán colapso parcial o total.

En la Tabla 11-2 se resume la categorización y clasificación del movimiento del terreno esperado, de las condiciones del subsuelo, tipos de construcciones y potencial de daño, mientras que en la Tabla 11-3 se detalla el daño probable a las construcciones (potencial de daño), que es dable esperar se produzca ante la ocurrencia de los valores de movimiento del terreno antes mencionado, en cada núcleo urbano del área estudiada.

En las Figuras 11-2 y 11-1, correspondientes al Gran San Juan y al resto del Valle de Tulum respectivamente, se ha graficado el potencial de daño de cada núcleo urbano.

Como puede observarse, predominan los daños importantes y altos, ya que de los 36 núcleos urbanos relevados (lo-

calidades y fracciones), 13 de ellos(36%) tienen un potencial de daños importante y otros 13 un potencial de daños altos. Existen ocho localidades(22%) con potencial de daños muy alto y solamente dos fracciones de Capital(6%) tienen un potencial de daños moderado, casi en el límite con daños bajos.

La Tabla 11-3 conjuntamente con la Tabla 9-1 resultan de mucha utilidad para Defensa Civil, en la preparación de planes de emergencia para el caso de desastres, ya que permiten estimar el número probable de construcciones dañadas en cada localidad, ante la ocurrencia de los terremotos considerados. Por otra parte, proporcionan una clara orientación para la planificación de la construcción de nuevos grupos habitacionales, destinados a reemplazar viviendas inseguras.

TABLA 11-1

Relación entre movimiento del terreno y porcentaje de construcciones dañadas

Tipo de Construcción	Rango del movimiento del terreno			
	Rango 1	Rango 2	Rango 3	Rango 4
Tipo I: Adobe	0	10%	70%	100%
Tipo II: Mampostería				
a) Sismorresistente	0	0	0	5%
b) No sismorresistente	0	5%	50%	80%
Tipo III: Otros Tipos				
a) Sismorresistentes	0	0	0	5%
b) No sismorresistentes	0	5%	50%	80%

TABLA 11-2

CATEGORIZACION DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO, CONDICIONES DEL SUBSUELO, TIPOS DE CONSTRUCCIONES Y DAÑO POTENCIAL

Movimiento del Terreno ($a_{m\grave{a}x}$)	Condiciones del Subsuelo	Tipos de Construcciones	Daño Potencial
Rango 1: $a_{m\grave{a}x} < 0,10 g$	Tipo A: Depósito de cono aluvial	Tipo I: Construcción de adobe	D8: Bajo
Rango 2: $a_{m\grave{a}x} = 0,10 a 0,20 g$	Tipo B: Depósitos de llanura aluvial	Tipo II: Construcción de mampostería	D8: Moderado
Rango 3: $a_{m\grave{a}x} = 0,20 a 0,35 g$	Tipo C: Zona de transición	II a) Sismorresistentes	D1: Importante
		II b) No sismorresistentes	DA: Alto
Rango 4: $a_{m\grave{a}x} = 0,35 a 0,50 g$		Tipo III: Otros tipos	DMA: Muy Alto
		III a) Sismorresistentes	
		III b) No sismorresistentes	

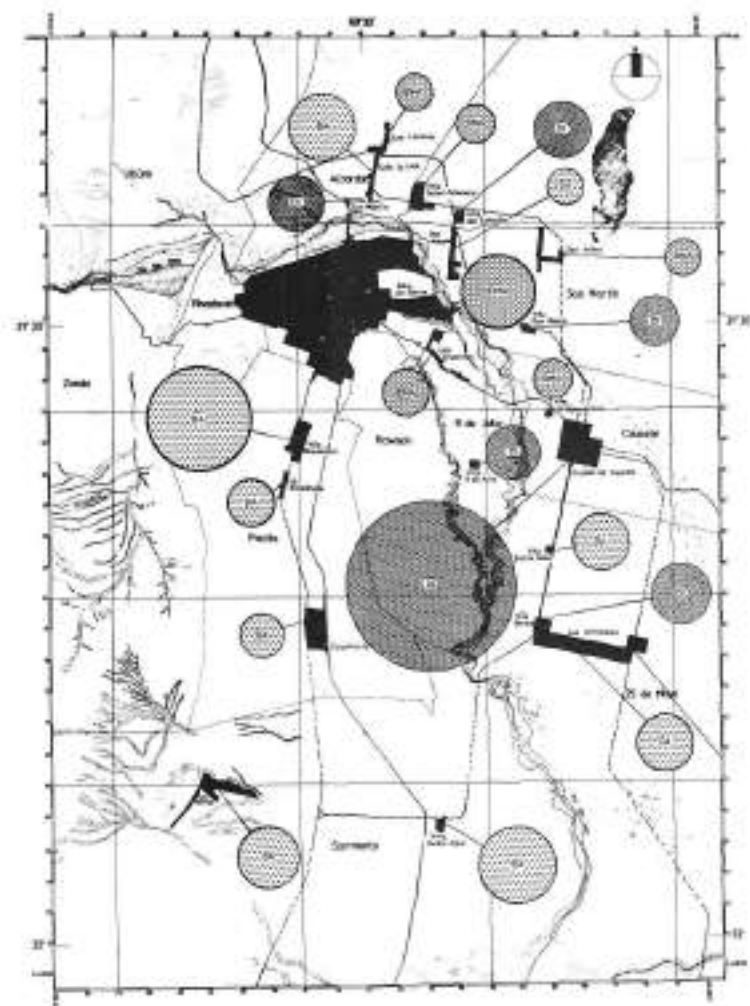
TABLA 11-3

Potencial de daño de los distintos núcleos urbanos

DEPARTAMENTO	LOCALIDAD	POTENCIAL DE DAÑO
Albardón	Va. San Martín	DI
	Calle La Laja	DA
	Las Lomitas	DMA
Angaco	Va. Sefair-Talacasto	DMA
	Va. El Salvador	DI
Capital	Gran San Juan 1	DM
	Gran San Juan 2	DM
	Gran San Juan 3	DI
	Gran San Juan 4	DI
	Gran San Juan 5	DI
Caucete	Ciudad Caucete	DI
	Va. Independencia	DMA
Chimbas	Gran San Juan 1	DA
	Gran San Juan 2	DA
	Gran San Juan 3	DMA
9 de Julio	Las Chacritas	DMA
	Va. 9 de Julio	DI
Pocito	Gran San Juan	DMA
	Va. Aberastáin	DA
	La Rinconada	DA
	Carpintería	DA
Rawson	Gran San Juan	DI

TABLA 11-3 (Cont.)

DEPARTAMENTO	LOCALIDAD	POTENCIAL DE DAÑO
Rivadavia	Gran San Juan	DI
	Gran San Juan	DA
	Gran San Juan	DI
San Martín	Dos Acequias	DA
	San Isidro	DMA
	Don Bosco	DI
Santa Lucía	Gran San Juan	DI
	Alto de Sierra	DMA
Sarmiento	Cienaguita	DA
	Los Berros	DA
	Va. Gral. Sarmiento	DA
25 de Mayo	Va. Santa Rosa	DA
	Va. Borjas	DI
	La Chimbera	DA

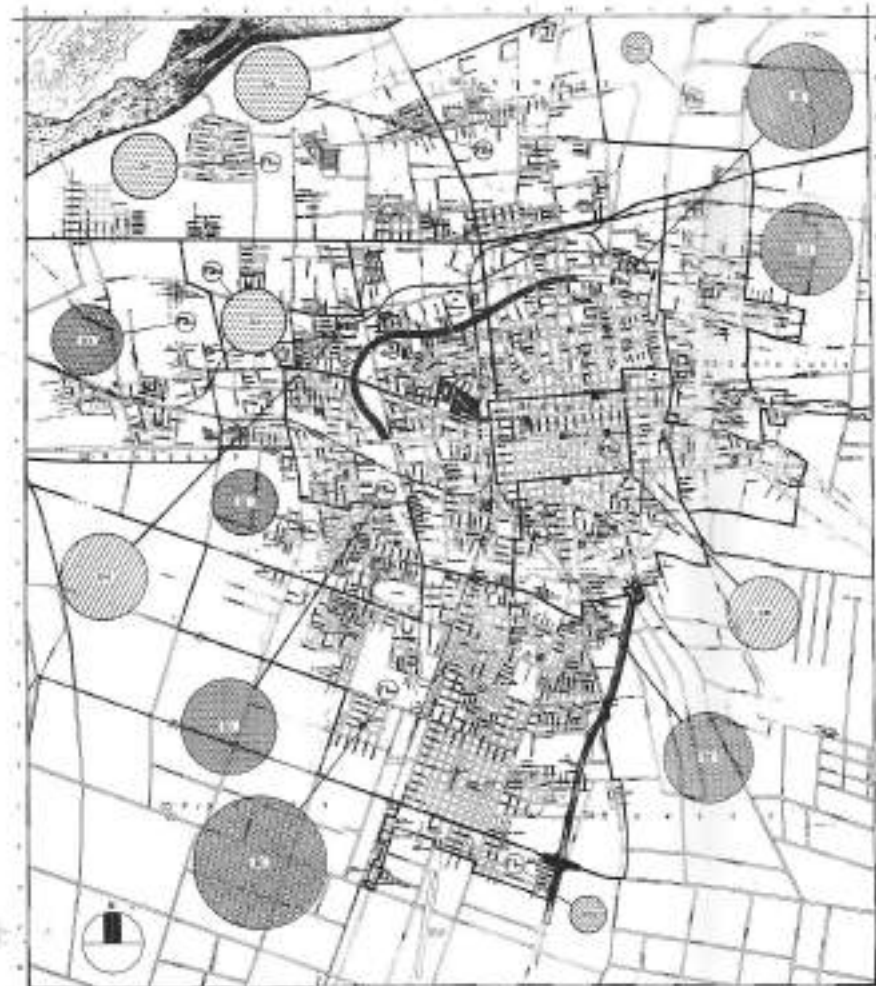


REFERENCIAS

- POTENCIAL DE DAÑOS
- DI - Daño Importante
 - DA - Daño Alto
 - DMA - Daño Muy Alto
- LOCALIDADES
- GRAN SAN JUAN (ver figura 19-2)



INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		Figura 11-1
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN - REPUBLICA ARGENTINA	VALLE DE TULUM - DAÑOS PROBABLES EN LAS CONSTRUCCIONES	
Gili-Nefa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.		



REFERENCIAS

POTENCIAL DE DAÑOS



DM - Daño Moderado



DI - Daño Importante



DA - Daño Alto



DMA - Daño Muy Alto

0 1 2 3 4 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -		
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN - REPUBLICA ARGENTINA	GRAN SAN JUAN - DAÑOS PROBABLES EN LAS CONSTRUCCIONES	Figura 11-2
Gil-Nata-Zambrido INGENIEROS CONSULTORES SRL		

12.0. ZONIFICACION DEL PELIGRO SISMICO.

12.1. Objetivo.

Las tareas resumidas en este capítulo tienen por finalidad confeccionar un mapa combinado de zonificación, que contemple todos los mapas individuales correspondientes a los distintos tipos de peligro sísmico realizados anteriormente durante este estudio. Este mapa compuesto constituye la expresión más sintética de los resultados de esta investigación.

12.2. Recapitulación de los factores que contribuyen a la peligrosidad sísmica en el Valle de Tulum.

En los capítulos anteriores se han evaluado individualmente los distintos factores que inciden sobre la peligrosidad sísmica del Valle de Tulum, obteniéndose como resultado varios mapas que expresan la distribución de dichos factores. Así por ejemplo, en los Capítulos 3, 4 y 6 se estudiaron las fuentes potenciales de actividad sísmica, obteniéndose el mapa de la Figura 4-1 en el que se presentan las / fuentes analizadas, cuyas características principales se resumen en la Tabla 6-1.

En el capítulo 6, análisis de exposición sísmica, se determinó la distribución de los valores máximos más probables del movimiento del terreno, en términos de aceleración y velocidad. La distribución de esos valores se presenta en los mapas de aceleraciones instrumentales máximas más probables, de las Figuras 6-3 a 6-5 y en los mapas de velocidades instrumentales máximas más probables de la Figura 6-6.

Por su importancia para la zonificación con propósitos de ingeniería y en base a lo expuesto en 11.2, se seleccionó el mapa de la Figura 6-3, de las aceleraciones instrumentales máximas más probables de ocurrir en 50 años, como el más representativo de las amplitudes del movimiento del

terreno.

En el Capítulo 7 se estudiaron las condiciones del subsuelo en el valle (Figura 7-1) y la falla del terreno por licuefacción, mientras que en el Capítulo 8 se evaluó la probabilidad de que ocurra licuefacción en la zona bajo estudio, obteniéndose como resultado el mapa de la Figura 8-3.

Si bien en el Capítulo 8 se evaluó la probabilidad de rotura superficial del terreno, debido al movimiento de las fallas, no se ha considerado su incidencia en la peligrosidad sísmica del Valle de Tulum, ya que las evidencias superficiales de fallamiento se encuentran fuera del área en estudio. Tampoco se consideró la influencia de los deslizamientos por similares razones.

En el Capítulo 11 se estudió la distribución probable de daños a las construcciones, ante la ocurrencia en la zona bajo estudio, de las amplitudes del movimiento del terreno correspondientes a 50 años; el mapa resultante constituye una zonificación de riesgo (daño) más que una zonificación de peligrosidad sísmica.

12.3. Mapa de zonificación del peligro sísmico.

Combinándose los mapas anteriores (Figuras 7-1, 6-3 y 8-3) se confeccionó el mapa unificado de peligrosidad sísmica que se presenta en la Figura 12-1.

Como puede observarse quedan delimitadas seis zonas que son:

ZONA	Aceleración instrumental pico $a_{m\acute{a}x}$	Probabilidad de licuefacción
1	$> 0,35 \text{ g}$	Alta(PAL)
2	$> 0,35 \text{ g}$	Intermedia(PIL)
3	$> 0,35 \text{ g}$	Baja(PBL)
4	$0,20 \text{ g} < a_{m\acute{a}x} < 0,35 \text{ g}$	Alta(PAL)
5	$0,20 \text{ g} < a_{m\acute{a}x} < 0,35 \text{ g}$	Intermedia(PIL)
6	$0,20 \text{ g} < a_{m\acute{a}x} < 0,35 \text{ g}$	Baja(PBL)

Dado que la fuente predominante de actividad sísmica para el área estudiada es la falla de la Precordillera, su ubicación y buzamiento hacen que los niveles más altos del movimiento del terreno tengan mayor probabilidad de producirse en una franja alargada, que coincide en gran parte con las zonas correspondientes a suelos del cono aluvial y de / transición, según surge del análisis de exposición sísmica.

Por otra parte, los niveles del movimiento en la mayor parte de la llanura aluvial, no serían tan elevados como en el caso anterior, aunque sin embargo, el hecho que los depósitos de suelos de la llanura aluvial amplifiquen en mayor / grado que los del cono aluvial el movimiento del terreno(Capítulo 7) y que además tengan una alta probabilidad de licuefacción, hacen que resulte difícil efectuar una diferenciación cuantitativa de los niveles de peligrosidad. A pesar de ello se pueden establecer las características propias de cada zona, en base a los distintos factores que contribuyen a la peligrosidad y en función de ellas dar pautas y recomendaciones para el diseño estructural y para el planeamiento urbano, lo que se hace en las próximas secciones.

Analizando la Figura 12-1 puede verse que la zona denominada 1 está comprendida dentro del rango 4 de amplitud de movimiento del terreno ($a_{m\acute{a}x} > 0,35 \text{ g}$), las condiciones del

subsuelo corresponden a las de llanura aluvial y tiene una probabilidad alta de sufrir licuefacción.

La zona 2 también está comprendida dentro del rango 4 de aceleraciones, coincide en gran parte con la zona de / transición de las condiciones del subsuelo y tiene una probabilidad intermedia de sufrir licuefacción.

La zona 3, coincidente con los depósitos de cono aluvial y suelos de la misma unidad fisiográfica(ubicados al este de la llanura aluvial pedemontana de la Sierra Chica / de Zonda) está dentro del rango 4 y tiene una probabilidad muy baja de experimentar licuefacción.

Las zonas 4, 5 y 6 están comprendidas por el rango 3 de aceleraciones del terreno($0,20g < a_{m\acute{a}x} < 0,35 g$). La primera de ellas posee suelos correspondientes a la llanura aluvial y un alto potencial de licuefacción. La zona 5 tiene una probabilidad intermedia de licuefacción, mientras / que la zona 6 tiene una probabilidad muy baja de licuefacción.

12.4. Recomendaciones para diseño.

En base a lo expresado en las secciones anteriores se recomienda, a los fines de diseño estructural, dos niveles de aceleración para la zona estudiada. Para la zona 1 se aconseja una aceleración instrumental máxima igual a 0,5g y para las restantes zonas 0,35g. Ello equivale a aceptar / que los suelos de la llanura aluvial amplifican el movimiento en suelo firme entre 1,4 y 1,5 veces más que los del cono aluvial.

Es conveniente reiterar que las aceleraciones mencionadas anteriormente son aceleraciones instrumentales máximas(7-10) y que estas no son necesariamente los valores más adecuados para representar el efecto de los movimientos sísmicos sobre las construcciones. Schnabel y Seed(1973) demos

traron que la energía asociada a los picos de los acelerogramas no es significativa y que si se reducen dichos picos en un 15 a un 30%, ello sólo afecta en un 4 a un 10% las amplitudes de los espectros y que este fenómeno es más acentuado en la medida que se trata de espectros con mayor grado de amortiguamiento. En base a ello Algermissen(1973) sugiere reducciones de un 25 a un 30% de las aceleraciones pico registradas en roca o en suelo muy firme.

Surge de esa manera el concepto de "aceleración efectiva" que consiste en una reducción de los valores de la / aceleración pico o máxima, que son de carácter instantáneo y que están asociadas a un solo nivel de frecuencia. En forma similar se obtiene la "velocidad efectiva". La aceleración efectiva y la velocidad efectiva están ligadas a la / aceleración máxima y a la velocidad máxima del terreno respectivamente, pero no coinciden con ellas ni son tampoco necesariamente proporcionales a ellas.

La aceleración efectiva puede obtenerse calculando el valor medio de las ordenadas espectrales de aceleración, para $0,1s < T < 0,5s$ y dividiéndolo por el valor de la ordenada del plafón(en este caso 3). Efectuando esto para el espectro correspondiente al terremoto de 1977 se obtiene una aceleración efectiva aproximadamente igual a $0,7 a_{m\acute{a}x}$.

Por lo tanto se sugiere para la zona 1 una aceleración efectiva $a_{ef}=0,35 g$ y para el resto del valle $a_{ef}=0,25 g$.

En base a lo expuesto en esta misma sección y en 7-10, se confeccionó el mapa de zonificación de la Figura 12-2, el que se recomienda para formar parte del código de edificación, ya que se lo realizó con propósitos de diseño estructural.

Como se observa, en dicho mapa se divide el área bajo estudio en tres zonas. La denominada zona A abarca la zona 1 y parte de la zona 2 del mapa de la Figura 12-1, y le co-

responde el espectro de diseño A que se presenta en la Figura 12-3. La delimitación de esta zona se ha realizado tomando como referencia elementos perfectamente identificables, tales como rutas, calles, canales, etc., a los fines de su aplicación práctica y para evitar dudas acerca de la ubicación de la posible obra con respecto a la línea límite. La zona B comprende la zona 3 y parte de la zona 2 del mapa de la Figura 12-1, y a ella le corresponde el espectro B(Figura 12-3). La zona C abarca el resto del área estudiada, correspondiéndole el espectro C(Figura 12-3).

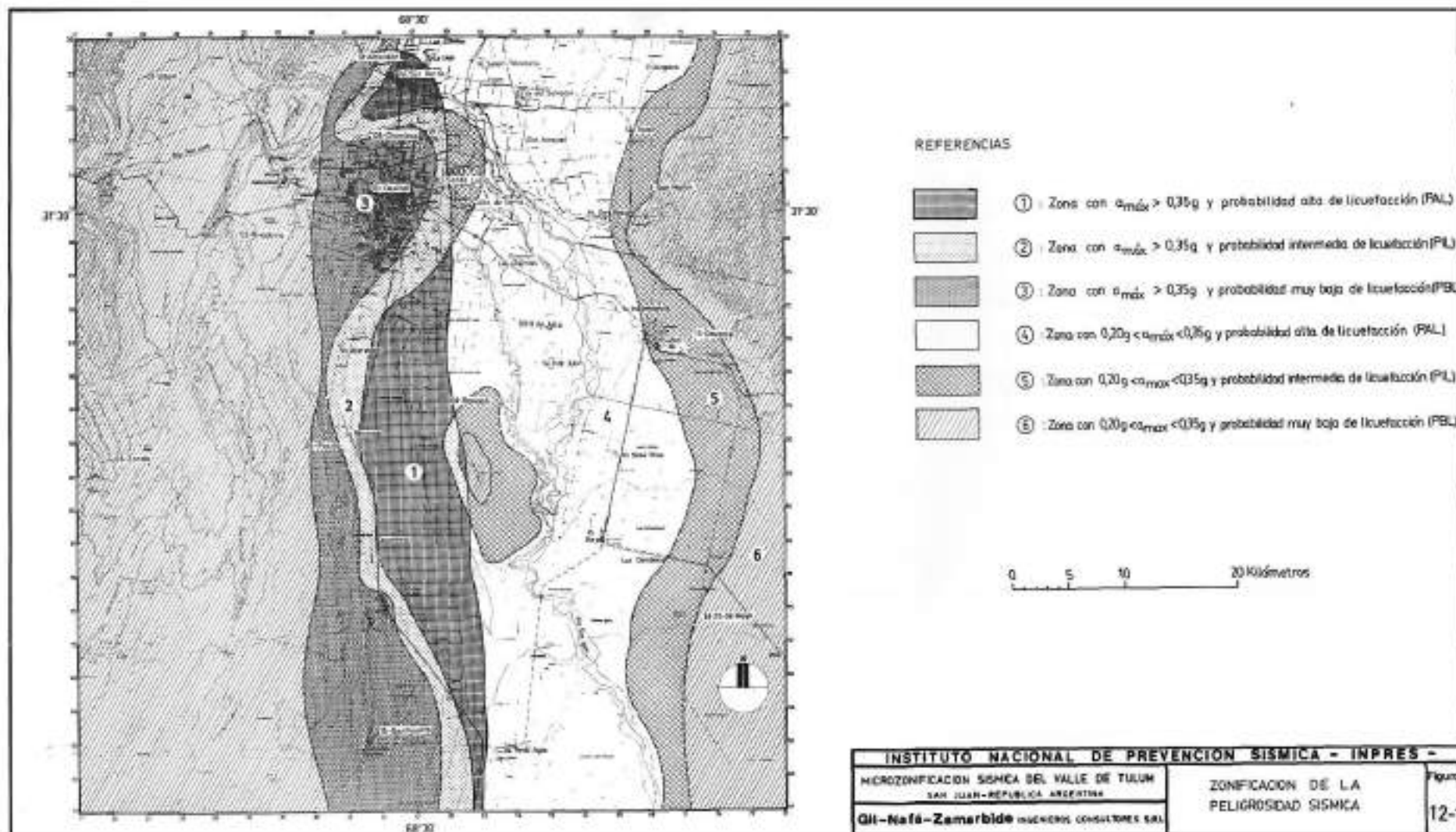
Con respecto a la falla del terreno debida a licuefacción, según se discutió en los Capítulos 7 y 8, la zona con alta probabilidad de sufrir licuefacción coincide en general con la zona bajo cultivo del valle. Al respecto se recomienda tomar precauciones especiales en el proyecto y construcción de obras en esa zona. Tales precauciones comprenden el conveniente diseño de las fundaciones y/o el mejoramiento de las condiciones del subsuelo mediante procedimientos adecuados. En tal sentido resultaría conveniente en uno u otro caso, realizar estudios en detalle del suelo en el sitio de implantación de la futura obra.

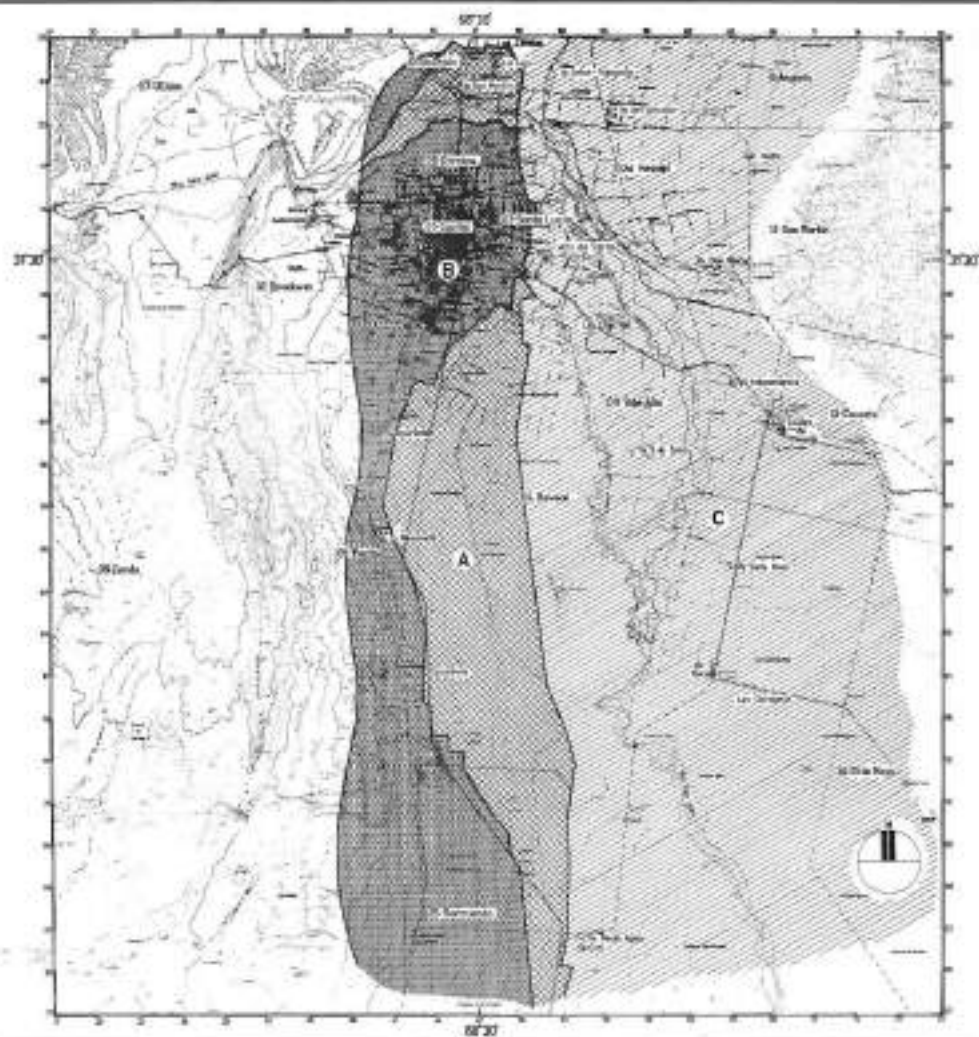
12.5. Resumen y conclusiones.

La zonificación de la peligrosidad sísmica del Valle de Tulum(Figura 12-1) comprende seis zonas con características propias en lo que se refiere a las amplitudes del movimiento del terreno, condiciones del subsuelo y potencial de licuefacción.




La zonificación para diseño estructural define tres / zonas, a cada una de las cuales le corresponde un espectro de diseño distinto(Figuras 12-2 y 12-3). Dichos espectros se han escalado para unas aceleraciones efectivas de 0,25 g (zonas B y C) y de 0,35 g(zona A).

Debido al alto potencial de licuefacción de la mayor parte de la denominada llanura aluvial, se recomienda tomar precauciones especiales en el proyecto y construcción de las obras a ubicarse en esa zona.



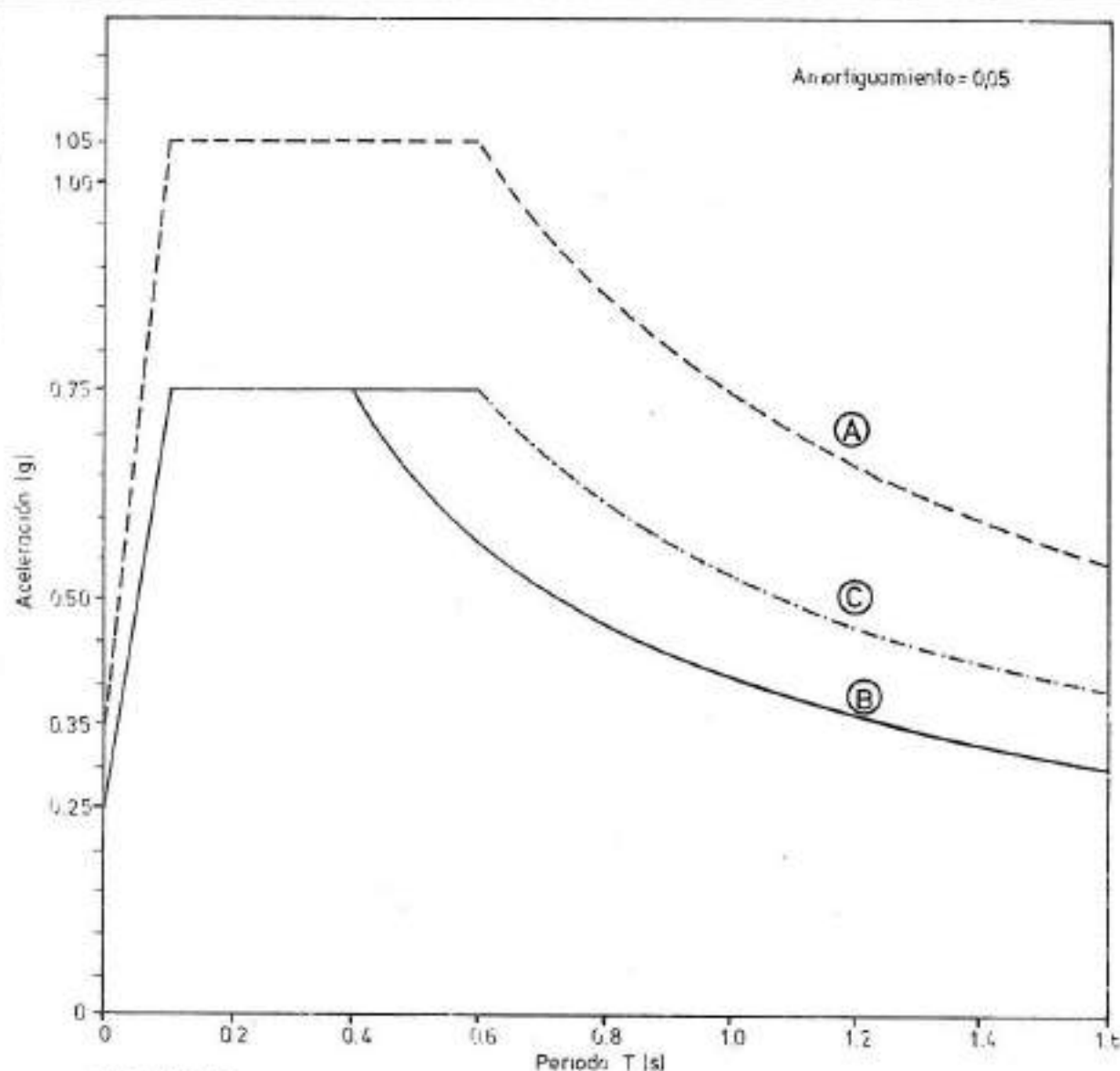


REFERENCIAS

-  ZONA A : $a_{ef} = 0,35$ — Espectro A (Figura 14-3)
-  ZONA B : $a_{ef} = 0,25$ — Espectro B (Figura 14-3)
-  ZONA C : $a_{ef} = 0,25$ — Espectro C (Figura 14-3)

0 5 10 20 Kilómetros

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -	
MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA	ZONIFICACION PROPUESTA PARA DISEÑO ESTRUCTURAL
Gil-Nafa-Zamarbide INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.	Figura 12-2



REFERENCIAS

ZONA	a_{ef} (g)	b (g)	T_1 (s)	T_2 (s)
A	0,35	1,05	0,1	0,6
B	0,25	0,75	0,1	0,4
C	0,25	0,75	0,1	0,6

NOTAS

- 1- a_{ef} = aceleración efectiva del terreno (para $T=0$, en unidades g)
- 2- b = ordenada del plafón del espectro (en unidades g)
- 3- T_1 = período correspondiente al comienzo del plafón (segundos)
- 4- T_2 = período correspondiente al fin del plafón (segundos)

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCIÓN SISMICA - INPRES -

MICROZONIFICACION SISMICA DEL VALLE DE TULUM
SAN JUAN-REPUBLICA ARGENTINA

ESPECTROS RECOMENDADOS
PARA DISEÑO ESTRUCTURAL

Figura

12-3

BIBLIOGRAFIA

- Algermissen S.T., y otros (1973), A Technique for seismic zoning, economic considerations NOAA Technical Report ERL 267-ESL 30.
- Allmendinger, P.W., and Jordan, T.E., 1981, Mesozoic evolution, hinterland of the Seiver belt: *Geology*, v. 9, p. 308-313.
- Anderson, J.G., 1978, On the attenuation of modified mercalli intensity with distance in the United States: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 68, n°4, pp. 1147-1180.
- ATC, 1978.
- Baldis, B.A., Uliarte, E.R., and Vaca, A., 1979, Análisis estructural de la comarca sísmica de San Juan: *Asociación Geológica Argentina, Revista XXXIV*, (4), p. 294-310.
- Barazangi, M., and Isacks, B.L., 1976, Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South America: *Geology*, v.4, n°11, p. 636-692.
- Bastias, H., 1982. Written Communication, Geologist, Instituto Nacional de Prevención Sísmica, San Juan, Argentina.
- Bonilla, M.G., 1970, Surface Faulting and related effects in earthquake engineering in Wiegel, R.L., ed., *Earthquake engineering: Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall*, p. 47-74.
- Braze, R.J., 1980, An Analysis of earthquake intensities with respect to attenuation, magnitude and rate of recurrence-revised edition: Report prepared for U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-1805.
- Bucknam and Anderson, 1979.
- Burchfield, B.C., and Davis, G.A., 1975, Nature and controls of Cordilleran orogenesis, western United States: Extensions of an earlier synthesis: *American Journal of Science*, v. 275-A, p. 363-396.
- Canitez, N., 1976, Dynamics of the North Anatolian fault: from proceedings Cento Seminar on Recent Advances and Earthquake Hazard and Minimization. Teheran, Iran, November, 1976.
- Caminos, R., 1972, Sierras Pampeanas de Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan, en Leanza, A.F., ed., *Geología Regional Argentina: Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina*, p. 41-79.
- Caminos, R., 1979, Sierras Pampeanas noroccidentales, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan: Segundo Simposio de Geología Regional Argentina, Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, p. 225-291.
- Campbell, K.W., 1981, Near-source attenuation of peak horizontal acceleration: *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 71, N°6, pp. 2039-2070.
- Castano, 1981.
- Chinn, D.S., 1982, Accurate source depths and focal mechanisms of shallow earthquakes in western South America and in the New Hebrides Island: Ph. D. Thesis, Cornell University.

- Consejo Federal de Inversiones: Diagnóstico económico-social de la provincia de San Juan.
- Cornell, C.A., 1968, Engineering seismic risk analysis: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 58, N°5, p. 1583-1606.
- Crouse, C.B., and Turner, B.E., 1980, Processing and analysis of Japanese accelerograms and comparisons with U.S. strong motion data: Seventh World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey, v.2, p. 419-426.
- Crowell, J.C. 1975, San Andreas Fault in southern California, A guide to San Andreas Fault from Mexico to Carrizo Plain: California Division of Mines and Geology, Special Report 118, 272 p.
- Cuerdas, 1966.
- Dewey, J.W., 1972, Seismicity and tectonics of western Venezuela: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 62, p. 1711-1751
- Dewey, 1975.
- Dirección de Planeamiento y Desarrollo Urbano de San Juan, 1974; Zonificación y sistema vial del área Gran San Juan.
- Donovan, N.C., 1973, A statistical evaluation of strong motion data, including the February 9, 1971 San Fernando Earthquake: Proceedings of the Fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, 25-29 June 1973, vol.1 p. 1252-1261.
- Esteva, L., 1969, Seismicity prediction: a Bayesian approach: Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, January 13-18, 1969, v. 1, p. A1 172-184.
- Fernández, 1943.
- Gerth, 1955.
- Giuliano, A. y otros, 1982: Análisis de los espectros de ductilidad correspondientes al terremoto de San Juan de 1977.
- Gobierno de la Provincia de San Juan, 1968: Análisis de la economía de San Juan.
- Gobierno de la Provincia de San Juan - Subsecretaría de Industria, Comercio y Minería, 1980: La economía provincial - Industria y Minería.
- Gobierno de la Provincia de San Juan - Secretaría de Estado de Obras y Servicios Públicos, 1979: Definición del Sistema Urbano Provincial.
- Groeber, P., 1944, Movimientos Tectónicos contemporáneos: Instituto del Museo de la Universidad Nacional de La Plata, Tomo IX, p. 263-375.
- Harrington, W.J., 1956, Argentina: in Handbook of South America Geology - An explanation of the Geologic Map of South America, ed. W.F. Jenkins, Geological Society of America, Memoir 65, p. 129-166.
- Harrison, J.E., Kleinkopf, M.D., and Wells, J.D., 1980, Phanerozoic thrusting in Proterozoic belt rocks, northwestern United States: Geology, v. 8, p. 407-411.
- Heim, A., 1947, El carbón del río Huaco (Provincia de San Juan) y su posición tectónica: Dirección de Minas y Geología. Bol. N°62, Buenos Aires.

- Heim, A., 1948, Observaciones Tectónicas en La Rinconada: Precordillera de San Juan: Dirección de Minas y Geología, Bol. N° 64, Buenos Aires.
- Heim, A., 1952, Estudios Tectónicos en la Precordillera de San Juan, Assoc. Geológica Argentina, T. VII, N° 1, Buenos Aires.
- Herron, E.M., 1972, Sea-floor spreading and the Cenozoic history of the east central Pacific: Geological Society of America Bulletin v. 83, N°6, p. 1671-1692.
- Hickman, R.G., Craddock, C., and Sherwood, X.W., 1977, Structural geology of the Denali fault system, central Alaska Range: Geological Society of America Bulletin, v. 88, p. 1217-1230.
- , 1978, The Denali fault system and the tectonic development of southern Alaska: Tectonophysics, v. 47, p. 247-273.
- Howell, B.F., Jr. and Schultz, T.R., 1975, Attenuation of modified mercalli intensity with distance from the epicenter: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 165, N°3, pp. 651-666.
- Idriss, E., 1980.
- Idriss, E., Arango, I., and Brogan, C., 1979, Study of liquefaction in the November 23, 1977 Earthquake, San Juan Province, Argentina: Woodward-Clyde Consultants, San Francisco.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), 1970: Normas Antisísmicas CONCAR-70.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), 1977: Zonificación Sísmica de la República Argentina, Publicación Técnica N° 5, 38 p.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), 1977: El terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977, Informe preliminar.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), 1978: Determinación de los Coeficientes Sísmicos Zonales para la República Argentina, Publicación Técnica N° 6, 27 p.
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES), 1980.
- INTA, Estación Experimental San Juan, 1976: Estudio de Suelos y Drenaje del Valle de Tulum.
- Isacks, B.L., and Barazangi, M. 1977, Geometry of Benioff Zones: Lateral Segmentation and Downwards Bending of the Subducted Lithosphere, in Island-Arc, Deep Sea Trenches and Back Basins, ed. M. Talwani and W.C. Pitman, American Geophysical Union, Maurice Ewing Series I, Washington D.C., p. 99-114.
- Isacks, B., Oliver, J., and Sykes, L.R., 1968, Seismology and the new global tectonics: Journal of Geophysical Research, v. 73, p. 5855-5899.
- ISC, 1981.
- James, D.E., 1971, Plate tectonic model for the evolution of the central Andes: Geological Society of American Bulletin, v. 82, N°12, p. 3325-3346.
- Jefferson, 1930.
- Jordan, T.E., Isacks, B.L., Allmendinger, R.W., Brever, J.A., Ramos, V.A.,

- and Ando, C.J., (in press), Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate.
- Kiureghian, A., and Ang, A.H., 1977, A fault-rupture model for seismic risk analysis: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 67, N°4, p. 1173-1194.
- Kulkarni, R.B., Sadigh, K., and Idriss, I.M., 1979, Probabilistic evaluation of seismic exposure: Proceedings of the Second U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Stanford, California, August 22-24, 1979, p. 90-99.
- Leanza, A.F., 1972, ed., Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, Argentina.
- McGuire, R.K., 1974, Seismic structural response risk analysis, incorporating peak response regressions on earthquake magnitude and distance: Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil Engineering, Research Report R74-51, August.
- , 1977, Insights from the Chinese earthquake catalog on stationary models used for seismic hazard assessment, U.S. Geological Survey Open File Report 77-715, 30 p.
- , 1978, FRISK: Computer Program for Seismic Risk Analysis Using Faults as Earthquake Sources: U.S.G.S. Open File Report 78-1007.
- McGuire, 1979 (9-2).
- Mirre, J.C., 1969, Descripción geológica de la Hoja 19-e, Valle Fértil (Provincia de San Juan): Dirección Nacional de Geología y Minería. Informe inédito.
- Morril, B.J., 1973, Seismoscope results in Murphy, L.M., ed., NOAA Report on the San Fernando, California Earthquake of February 9, 1971, v. 3, p. 353-364.
- Ortiz, A. y Zambrano, J., 1980.
- Plafker, G., Hudson, T., and Richter, 1977, Preliminary observations on late Cenozoic displacements along the Totschunda and Denali fault systems: in Blean, K.M., ed., The United States Geological Survey in Alaska: Organization and status of programs in 1977: U.S. Geological Survey Circular C 751-A., p. B67-B69.
- Proyecto de Reglamento 103 INPRES-CIRSOC, 1982.
- Richter, C.F., 1958, Elementary Seismology: San Francisco, W.H. Freeman and Co., 768 p.
- Richter, D.H., and Matson, N.A., Jr., 1971, Quaternary faulting in the eastern Alaska Range: Geological Society of America Bulletin, v. 82, p. 1529-1539.
- Rocca, 1970.
- Rojahn, C., Pérez, V., Castano, J.C., and Zamarbide, J.L. (in press), Analysis and interpretation of strong-motion records from the November 23, 1977 western Argentina earthquake and December 6, 1977 aftershock: submitted for publication in U.S. Geological Survey Professional Paper on No

- venber 23, 1977 Western Argentina earthquake).
- Rojahn, C., Brogan, G.E., and Slemmons, D.B., 1981, Preliminary report on the San Juan, Argentina earthquake of November 23, 1977: Proceedings of Central American Conference on Earthquake Engineering, 1978.
- Schnabel P. and Seed B.H., 1973, Accelerations in rock for earthquakes in the Western United States, BSSA, Editorial Committee.
- Schubert and Sifontes, 1970.
- Secretaría de Estado de Planeamiento y Estadística de San Juan, 1981: Información Estadística - Serie Población y Vivienda N° 1 y N° 2.
- Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1982, personal communication.
- Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1970, A simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential: Earthquake Engineering Research Center, Report N° EERC 70-9, University of California, Berkeley, California.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., Makdisi, F., and Benerjee, N., 1975, Representations of irregular stress time histories by equivalent uniform stress series in liquefaction analyses: Earthquake Engineering Research Center, Report N° EERC 75-29, University of California, Berkeley, California.
- Seed, H.B., Ugas, C., and Lysmer, J., 1976, Site-dependent spectra for earthquake resistant design: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 66, N° 1, p. 221-244.
- Seed, H.B., and Idriss, I.M., 1981, Evaluation of liquefaction potential of sand deposits based on observations of performance in previous earthquakes: American Society of Civil Engineers, Preprint 81-544: In situ Testing to Evaluate Liquefaction Susceptibility, St. Louis, Missouri, October, 1981.
- Seed, H.B., 1982.
- Sherif, M.A., Carta personal a H. Shah, Stanford University, 1980.
- Sieh, K.E., 1978a, Slip along the San Andreas fault associated with the great 1857 earthquake: Bulletin of the Seismological Society of America, v. 68, N° 5, p. 1421-1448.
- , 1978b, Pre-historic large earthquakes produced by slip on the San Andreas fault at Pallett Creek, California: Journal of Geophysical Research v. 83, p. 3907-3939.
- , 1980.
- Slemmons, D.B., 1977, Faults and earthquake magnitude: U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Miscellaneous Paper S-73-1, Report 6, 129 p.
- Slemmons, 1982.
- Slemmons, D.B., and Brogan, G.E., (in press), Tectonic setting and primary effects of the earthquake in San Juan Province, Argentina: U.S. Geological Survey.
- Stauder, W., 1973, Mechanism and spatial distribution of Chilean earthquakes with relation to subduction of the oceanic plate: Journal Geophysical

- Research, v. 78, no. 23, p. 5033-5061.
- Swan, F.H., Schwart, D.P., and Cluff, L.S., 1980, Recurrence of moderate-to-large magnitude earthquake produced by surface faulting on the Wasatch Fault Zone, Utah: Bulletin of the Seismological Society of America, v.0, N°5, p. 1431-1462.
- Taylor, C.L., and Cluff, L.S., 1973, Fault activity and its significance assessed by exploratory excavation: Proceedings, Conference on Tectonic Problems of the San Andreas Fault System, R.L. Kovach and A. Nur, eds., Stanford University Publications, Geological Sciences, Stanford, California, v. 13, 1973, p. 239-247.
- Toksoz, M.N., 1976, The Subduction of the lithosphere, in continents adrist and continents aground: San Francisco, W.H. Freeman and Co., 230 p.
- Turkish National Committee on Earthquake Engineering - 7th WCEE State-of-the-art in earthquake engineering, Estambul, 1980.
- Uliarte, E.R., (in press), Fault map of San Juan Province, Argentina: prepared for Gil-Nafá-Zamarbide, 1 sheet, scale 1: 5.000.000.
- U.S. Geological Survey, 1981, Hypocenter data file (computer tape and cards) Boulder, Environmental Data Services.
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1981, Safety evaluation report related to the operation of San Onofre Nuclear Generating Station, Unites 2 and 3: U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, D.C., NUREG-0712, Supplement N° 1, p. E-15 and E-17.
- Universidad Nacional de San Juan, 1980. Riesgo Sísmico en Potrerillos (Provincia de Mendoza), Volumen 1. Desarrollo Actividad Sísmica, San Juan, Argentina, 129 p.
- Universidad Nacional de San Juan, 1980.
- Uyeda, S., and Kanamori, H., 1979, Back-arc opening and the mode of subduction: Journal of Geophysical Research, v. 84, N° B3, p. 1049-1062.
- Vargas, N.J., 1978, Analysis of Adobe Vertical Walls, International Symposium on Guatemala.
- Wallace, R.E., 1977, Profiles and ages of young fault scarps, north-central Nevada: Geological Society of America Bulletin, v. 88, p. 1267-1281.
- , 1978a., Geometry and rates of change of fault-generated range fronts, north-central Nevada: U.S. Geological Survey Journal of Research, v. 6, n. 5, p. 637-649.
- , 1978b., Patterns of faulting and seismic gaps in the Great Basin province, in Conference VI, Methodology for identifying seismic gaps and soon-to-break gaps, May 25-27, 1978, Proceedings: U.S. Geological Survey Open-File Report 78-943, p. 858-863.
- Hindhausen, (1929; 1930; 1931).
- Woodward-Clyde and Associates, 1969, Seismicity and seismic-geology of north western Venezuela, Volume I, Evaluation: Report prepared for Compañía Shell de Venezuela, June, 1969.
- Woodward-Clyde Consultants 1978, Offshore Alaska Seismic Exposure Study: Re

port prepared for Alaska subarctic Offshore Committee (ASOC) by Woodward-Clyde Consultants.

- , 1981, Preliminary Report; Quaternary Faults of the Great Basin in Portions of Nevada and Utah, Volume I: Report prepared for Henningson, Durham, and Richardson, 1981.
- Woodward-Clyde Consultants, 1982.
- Wyss, M., 1979, Estimating maximum expectable magnitude of earthquake from fault dimensions: *Geology*, v. 7, p. 336-340.
- Yegian, -.-., and Whitman, -.-., 1977, Risk analysis for ground failure by liquefaction: American Society of Civil Engineers, Preprint 2913: The Use of probabilities in Earthquake Engineering, San Francisco, California, October, 1977.
- Zamarbide, J.L., 1971: Descripción y análisis de los daños estructurales provocados por el terremoto de Perú (Chimbote) del 31-5-1970 - VI Reunión de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas, Mendoza, Argentina.
- Zamarbide, J.L., 1976: El terremoto de Guatemala del 4-2-1976. IX Reunión Científica Argentina de Geofísica y Geodesia - Buenos Aires. También publicado por Ceresis-Unesco. Lima, 1980.
- Zeil, W., 1979, The Andes, a geological review: Gebruder Borntraeger, Berlín, 260 p.

Gil - Nafa - Zamarbide
INGENIEROS CONSULTORES S.R.L.

En toda reproducción total o parcial del contenido,
tablas o figuras de esta publicación, deberá citarse
su procedencia y autor y enviar copia al INSTITU
TO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES - Roger
Balet 47 Norte - 5400 SAN JUAN - **REPUBLICA ARGENTINA**.