

# TABLA DE CONTENIDOS

## VOLUMEN I

<b>1. Descripción del proyecto</b>	1-1
1.1 Introducción	1-1
1.2 Beneficiarios	1-1
1.3 Objetivos	1-1
1.3.1 Objetivo general	1-1
1.3.2 Objetivos específicos	1-2
1.4 Productos	1-2
1.5 Esquema organizativo	1-2
1.6 Tareas específicas	1-3
1.7 Instituciones y personas contactadas	1-5
1.8 Programa de giras de comprobación de campo	1-7
1.9 Evaluación de parte del WSSI	1-8
1.10 Clasificación de instalaciones	1-8
<b>2. Sistemas de Información Geográfica (SIG)</b>	2-1
2.1 Definición de un SIG	2-1
2.2 Ejemplos de aplicaciones de SIG	2-1
2.3 Paquetes SIG disponibles en el mercado	2-2
2.4 Atributos y componentes de un SIG	2-3
2.4.1 Captura de datos	2-3
2.4.2 Análisis	2-4
2.4.3 Manipulación	2-6
2.4.4 Indagación	2-7
2.4.5 Despliegue y reporte	2-8
2.5 Características de los datos de un SIG	2-9
2.6 Estructura de base de datos	2-11
<b>3. Esquema de Análisis de Amenaza Sísmica</b>	3-1
3.1 Método general	3-1
3.2 Tipo de análisis	3-1
3.3 Modelaje de sismicidad y fallas	3-1
3.4 Modelaje de la frecuencia sísmica	3-3
3.5 Modelaje del movimiento del suelo	3-3
3.6 Estimación de la Amenaza en Sitio	3-4
3.7 Análisis de incertidumbre	3-6
3.8 Efectos locales del sitio	3-6
3.9 Amenazas colaterales	3-8

<b>4.</b>	<b>Determinación de la Amenaza Sísmica mediante SIG</b>	4-1
4.1	Datos digitales requerido	4-1
4.2	Modelaje del movimiento del suelo	4-1
4.2.1	Análisis probabilístico	4-1
4.2.2	Análisis determinístico	4-2
4.3	Efectos locales del sitio	4-3
4.3.1	Modificación del movimiento del suelo	4-3
4.3.2	Licuefacción	4-4
4.3.3	Deslizamientos	4-5
4.3.4	Ruptura del suelo	4-5
4.4	Amenazas colaterales	4-6
4.4.1	Inundación	4-6
4.4.2	Incendios debidos a sismo	4-7
<b>5.</b>	<b>Referencias y figuras</b>	5-1
<b>6.</b>	<b>Ilustraciones</b>	6-1
<b>7.</b>	<b>Anexos. Fórmulas de investigación de campo.</b>	7-1

## **VOLUMEN II**

<b>1.</b>	<b>Generalidades</b>	1-1
1.1	Introducción	1-1
1.2	Objetivos	1-2
1.2.1	Objetivo general	1-2
1.2.2	Objetivos específicos	1-2
1.3	Alcance	1-3
1.4	Antecedentes	1-3
<b>2.</b>	<b>Aspectos teóricos</b>	2-1
2.1	Consideraciones sobre ingeniería sísmica	2-1
2.1.1	Tectónico global y origen de los terremotos	2-1
2.1.2	Transmisión de la energía sísmica	2-2
2.1.3	Características principales de los sismos	2-3
2.1.3.1	Magnitud del sismo	2-3
2.1.3.2	Foco y epicentro	2-5
2.1.3.3	Intensidad	2-5
2.1.3.4	Momento Sísmico	2-6

2.1.3.5 Energía Sísmica	2-6
2.2 Sistemas de Información Geográfica	2-6
2.2.1 Definición y características	2-6
2.2.2 Atributos de un SIG	2-7
2.2.2.1 Captura de datos	2-7
2.2.2.2 Análisis	2-7
2.2.2.3 Manipulación	2-8
2.2.2.4 Selección	2-9
2.2.2.5 Despliegue	2-9
<b>3. Distribución de la aceleración del sismo de Nicoya</b>	<b>3-1</b>
3.1 Ubicación y características del sismo	3-1
3.2 Propagación de la onda sísmica	3-2
3.3 Distribución de la aceleración pico para el sismo de Nicoya	3-5
<b>4. Evaluación de daños en carreteras</b>	<b>4-1</b>
4.1 Licuación	4-1
4.1.1 Probabilidad de licuación	4-3
4.1.2 Zonas con probabilidad de licuación	4-4
4.1.3 Deformación permanente del suelo por licuación	4-5
4.1.4 Deformaciones en la zona de Guanacaste	4-6
4.2 Deslizamientos	4-6
4.2.1 Desplazamientos permanentes del terreno por deslizamiento	4-7
4.2.2 Determinación de deformaciones en la zona de Guanacaste	4-8
4.3 Determinación de daños en carreteras	4-8
4.4 Daños esperados en las carreteras de Guanacaste	4-10
<b>5. Determinación de daños en puentes</b>	<b>5-1</b>
5.1 Metodología de análisis de daños	5-1
5.2 Otros enfoques existentes	5-1
5.3 Descripción del método del “Risk Management Solutions, Inc”	5-3
5.3.1 Clasificación de puentes	5-4
5.3.2 Definición de los estados de daños	5-5
5.3.3 Funciones de daños en puentes	5-5
5.4 Revisión de la metodología para el sismo de Limón	5-6
5.5 Daños causados por el efecto de la aceleración	5-7
5.6 Daños esperados debido a la licuación	5-8
5.7 Daños ocasionados por la combinación de efecto de la aceleración y la licuación	5-9
<b>6. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>6-1</b>

6.1 Conclusiones	6-1
6.2 Recomendaciones	6-2
<b>7. Referencias</b>	7-1
<b>Anexo A:</b> Relaciones de atenuación	A-1
<b>Anexo B:</b> Mapas de aceleración, geología y pendientes	B-1
<b>Anexo C:</b> Estratigrafía de Guanacaste	C-1
<b>Anexo D:</b> Curvas de fragilidad	D-1
<b>Anexo E:</b> Clasificación, daños calculados y daños observados observados para los principales puentes de la zona de Limón	E-1
<b>Anexo F:</b> Clasificación, descripción y daños esperados para los puentes de Guanacaste.	F-1
<b>Anexo G:</b> Definición y componentes de los puentes	G-1

## **VOLUMEN III**

<b>1. Generalidades</b>	1-1
1.1 Introducción	1-1
1.2 Objetivos	1-3
1.2.1 Objetivo general	1-3
1.2.2 Objetivos específicos	1-3
1.3 Alcance del proyecto	1-4
1.4 Antecedentes teórico y/o prácticos del problema	1-5
<b>2. Antecedentes</b>	2-1
2.1 Aspectos Generales sobre desastres naturales	2-1
2.1.1 Efectos de los desastres	2-1
2.1.2 Definiciones	2-2
2.1.3 Amenaza y Riesgo Sísmico	2-3
2.2 Peligros Geológicos	2-4
2.2.1 Visión general del proceso de la planificación para el desarrollo	2-4

2.2.2 Terremotos	2-5
<b>3. La Zona de Estudio</b>	<b>3-1</b>
3.1 Delimitación	3-1
3.2 Historia Sísmica	3-3
<b>4. Metodología para la Estimación de Daño para Edificios en General</b>	<b>4-1</b>
4.1 Descripción de la metodología	4-1
4.1.1 Datos de Entrada Requeridos para el Análisis	4-2
4.1.2 Funciones de Daño	4-2
4.2 Descripción de los tipos de modelos para edificios	4-5
4.2.1 Sistemas Estructurales	4-6
4.3 Daño Estructural	4-9
4.4 Daño en edificios debido al movimiento del terreno	4-18
4.4.1 Generalidades	4-18
4.4.2 Curvas de Capacidad	4-18
4.4.3 Curvas de Fragilidad	4-20
4.4.4 Curvas de Fragilidad Estructural para PGA	4-21
4.5 Daño en Edificios debido a falla del terreno	4-21
4.5.1 Generalidades	4-21
4.5.2 Curvas de Fragilidad–Desplazamiento permanente del terreno	4-21
4.5.3 Asentamiento del terreno	4-23
<b>5. Distribución de la Aceleración Pico en la Zona en Estudio</b>	<b>5-1</b>
5.1 Generalidades	5-1
5.2 Relaciones de atenuación de Youngs et al	5-1
<b>6. Caracterización de las Estructuras de los Centros Educativos y de Salud</b>	<b>6-1</b>
6.1 Problemas de configuración en las edificaciones	6-1
6.1.1 Longitud	6-2
6.1.2 Flexibilidad	6-3
6.1.3 Falta de Redundancia	6-3
6.1.4 Torsión	6-4
6.1.5 Flexibilidad del diafragma	6-5
6.1.6 Concentración de esfuerzo en planta	6-6
6.1.7 Concentración de masa	6-6
6.1.8 Columnas débiles	6-7
6.1.9 Pisos débiles	6-7

6.2 Infraestructura de los Centros Educativos	6-8
6.2.1 Aspectos generales	6-8
6.2.2 Centros Educativos en estudio	6-9
6.3 Infraestructura de los Centros de Salud	6-15
6.3.1 Aspectos generales	6-15
6.3.2 Centros de Salud en estudio	6-15
6.4 Descripción de las estructuras analizadas	6-18
<b>7. Daños en los Centro Educativos y de Salud</b>	<b>7-1</b>
7.1 Aspectos generales	7-1
7.2 Descripción de daños de las estructuras considerando el PGA	7-2
7.2.1 Daños esperados para los Centros Educativos	7-2
7.2.2 Descripción de daños en Centros de Salud	7-7
7.3 Daños por deslizamiento del terreno	7-10
7.4 Daños por licuación en las estructuras	7-10
7.5 Daños esperados en las estructuras de los centros educativos y de salud	4-10
<b>8. Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>8-1</b>
8.1 Conclusiones	8-1
8.2 Recomendaciones	8-6
<b>9. Referencias Bibliográficas</b>	<b>9-1</b>
<b>Anexo A:</b>	
Matriculas en escuela de la zona en estudio	A-1
Colegios de la zona de estudio	A-20
<b>Anexo B: Escuelas y clínicas evaluadas en el estudio</b>	
Escuelas de Puntarenas	B-1
Escuelas de Guanacaste	B-12
Colegios de Puntarenas	B-37
Colegios de Guanacaste	B-51
Clínicas de Puntarenas	B-79
Clínicas de Guanacaste	B-86

## **VOLUMEN IV**

<b>1. Introducción</b>	1-1
1.1 Justificación	1-1
1.2 Objetivos	1-4
1.3 Ubicación del área de estudio	1-5
1.4 Metodología	1-6
<b>2. Marco geológico</b>	2-1
2.1 Antecedentes sobre el origen y emplazamiento del Complejo de Nicoya y la cobertura sedimentaria	2-1
2.2 Estratigrafía Regional	2-4
2.2.1 Complejo de Nicoya	2-5
2.2.2 Formación Sabana Grande	2-6
2.2.3 Formación Conglomerado Barbudal	2-6
2.2.4 Formación Rivas o Curú	2-7
2.2.5 Rocas clásticas y bioclásticas	2-8
2.2.5.1 Formación Barra Honda	2-8
2.2.5.2 Formación Brito	2-8
2.2.6 Formación Masachapa	2-9
2.2.7 Rocas volcánicas	2-9
2.2.7.1 Formación Bagaces	2-10
2.2.7.2 Formación Liberia	2-10
2.2.8 Manglares y Pantanos	2-11
2.2.9 Depósitos Recientes	2-11
2.3 Aspectos geomorfológicos y neotectónicos	2-14
2.3.1 Consideraciones generales	2-14
2.3.2 Formas de origen volcánico denudacional	2-16
2.3.2.1 Serranías de la Península de Nicoya	2-16
2.3.2.2 Meseta volcánica de Santa Rosa	2-17
2.3.3 Formas de origen sedimentario denudacional	2-17
2.3.4 Formas de origen fluvial	2-18
2.3.5 Consideraciones sobre Neotectónica	2-18
2.4 Aspectos de geología estructural	2-20
<b>3. Aspectos sismológicos</b>	3-1
3.1 Sismotectónica	3-1
3.2 Sismicidad en la región del Pacífico norte de Costa Rica	3-10
<b>4. Generalidades sobre amplificación de la señal sísmica en el subsuelo</b>	4-1

4.1	Introducción	4-1
4.2	Características del movimiento sísmico del terreno	4-2
4.2.1	Parámetros de amplitud	4-2
4.2.2	Parámetros de contenido de frecuencias	4-4
4.2.2.1	Espectro del movimiento sísmico del terreno	4-5
4.2.2.2	Parámetros espectrales	4-7
4.2.2.3	Razón $v_{m\acute{a}x}/a_{m\acute{a}x}$	4-8
4.2.3	Duración	4-8
4.2.4	Discusión	4-9
4.3	Factores que afectan el movimiento sísmico del terreno	4-10
4.4	Influencia de las condiciones del suelo en las características del movimiento sísmico del terreno	4-12
<b>5.</b>	<b>Programa de análisis de respuesta sísmica del terreno</b>	<b>5-1</b>
5.1	Limitaciones que presenta el programa SHAKE (NORAD-CEPREDENAC, 1997)	5-1
5.2	Modelo matemático del SHAKE	5-2
5.3	El efecto de las propiedades del semi-espacio elástico	5-7
5.4	Transformada de Fourier	5-8
5.5	Comportamiento no lineal del suelo	5-9
5.6	Método lineal equivalente	5-9
5.7	Método de solución exacta	5-11
<b>6.</b>	<b>Análisis de la información obtenida</b>	<b>6-1</b>
6.1	Mapa geológico	6-1
6.2	Mapa tipos de suelos	6-2
6.3	Mapa geológico y sondeos geofísicos	6-4
6.4	Determinación de los parámetros geofísicos del suelo y roca a utilizar en el análisis	6-9
<b>7.</b>	<b>Resultados del programa de análisis de respuesta sísmica terreno</b>	<b>7-1</b>
7.1	Movimientos sísmicos de entrada y su influencia en la amplificación sísmica	7-1
7.2	Resultados generales del programa	7-3
7.3	Métodos espectrales y funciones de transferencia	7-4
7.4	Espectros de respuesta propuestos y funciones de transferencia	7-5
7.5	Resultados generales de los tres grupos de pozos estudiados	7-29
7.6	Espectros de diseño propuestos	7-33
7.7	Limitaciones	7-40
<b>8.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>8-1</b>



---

8.1 Conclusiones	8-1
8.2 Recomendaciones	8-5
<b>9. Bibliografía</b>	9-1
<b><u>ANEXO 1</u></b> Información general de los movimientos sísmicos utilizados	A1
<b><u>ANEXO 2</u></b> Perfiles geológicos de los pozos utilizados en los tres grupos de estudio y resultados del programa	A2-1
• Primer grupo de estudio	A2-2
• Segundo grupo de estudio	A2-3
• Tercer grupo de estudio	A2-4
• Grupo A	A2-5
• Grupo B	A2-6

**VOLUMEN V**

<b>1.</b>	<b>Introducción</b>	1-1
	1.1 Justificación	1-1
	1.2 Objetivos	1-2
	1.3 Alcance y limitaciones	1-2
	1.4 Metodología	1-3
<b>2.</b>	<b>Vulnerabilidad sísmica y tipos de daños en puentes</b>	2-1
	2.1 Generalidades	2-1
	2.2 Tipos de daños en puentes debidos a terremotos	2-1
	2.2.1 Desplazamientos	2-1
	2.2.2 Daños en columnas	2-4
	2.2.3 Fallas en las uniones	2-5
	2.2.4 Falla en las fundaciones	2-5
<b>3.</b>	<b>Estimación de la demanda sísmica</b>	3-1
	3.1 Antecedentes	3-1
	3.2 Medición de los sismos	3-1
	3.3 Atenuación de la aceleración del terreno	3-3
	3.4 Aplicación de las relaciones de atenuación al terremoto de Nicoya	3-5
	3.5 Determinación del espectro de respuesta para el análisis	3-7
<b>4.</b>	<b>Descripción de la estructura</b>	4-1
	4.1 Localización	4-1
	4.2 Generalidades	4-1
	4.3 Especificaciones	4-1
	4.3.1 Diseño y construcción	4-1
	4.3.2 Materiales	4-2
	4.3.2.1 Concreto	4-2
	4.3.2.2 Acero de refuerzo	4-2
	4.4 Descripción de la superestructura	4-2
	4.4.1 Tramo de vigas de concreto postensado	4-2
	4.4.2 Tramo de vigas tipo canaleta	4-3
	4.5 Descripción de la subestructura	4-3
	4.5.1 Bastiones	4-4
	4.5.2 Pila	4-4
	4.6 Apoyos y conexiones	4-4
	4.6.1 Claros de vigas tipo I postensadas	4-5
	4.6.2 Claro de vigas pretensadas tipo canaleta	4-5

<b>5.</b>	<b>Consideraciones acerca del modelo y método de análisis</b>	5-1
	5.1 Descripción del programa SEISAB	5-1
	5.1.1 Introducción	5-1
	5.1.2 Características del modelo generado	5-1
	5.1.3 Métodos de análisis	5-3
	5.1.4 Combinación de respuestas modales	5-3
	5.1.5 Combinaciones de carga	5-4
	5.2 Modelo de la superestructura	5-4
	5.3 Modelo de la pila	5-5
	5.4 Modelo de bastiones y fundaciones	5-6
	5.4.1 Efecto del suelo en placas aisladas	5-6
	5.4.2 Efecto del suelo en los bastiones	5-9
<b>6.</b>	<b>Análisis de resultados</b>	6-1
	6.1 Discusión acerca del modelo utilizado	6-1
	6.2 Caracterización modal	6-2
	6.3 Revisión de desplazamientos	6-3
	6.3.1 Desplazamientos en los bastiones	6-3
	6.3.2 Desplazamientos en las conexiones pila-superestructura	6-5
	6.4 Revisión de la columna de la pila	6-6
	6.4.1 Flexocompresión	6-6
	6.4.2 Cortante	6-8
	6.5 Revisión de la placa de fundación de la pila	6-9
	6.6 Revisión de conexiones	6-11
	6.6.1 Llaves de cortante	6-11
	6.6.2 Dovelas	6-11
<b>7.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	7-1
	7.1 Conclusiones	7-1
	7.2 Recomendaciones	7-4
<b>8.</b>	<b>Referencias</b>	8-1
<b>Anexo A: Detalles constructivos para los componentes principales del puente sobre el Río Nosara.</b>		A-1
<b>Anexo B: Diagramas para la estimación de <math>\alpha</math> y <math>\beta</math></b>		B-1

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b>	Principales placas tectónicas	2-10
<b>Figura 2.2:</b>	Tipos de fallas geológicas	2-10
<b>Figura 2.3:</b>	Dirección de propagación de ondas sísmicas y el medio transmisor	2-11
<b>Figura 2.4:</b>	Relaciones entre la magnitud momento y otras magnitudes	2-12
<b>Figura 2.5:</b>	Procedimiento de unión de mapas	2-12
<b>Figura 2.6:</b>	Análisis de cercanía usando un SIG	2-13
<b>Figura 2.7:</b>	Fusión de mapas adyacentes	2-13
<b>Figura 2.8:</b>	Actualización de mapas	2-14
<b>Figura 2.9:</b>	Generalización de mapas	2-14
<b>Figura 2.10:</b>	Ejemplo de selección por indagación con un SIG	2-15
<b>Figura 3.1:</b>	Localización de la Brecha Sísmica de Nicoya, ubicación de epicentros de antiguos sismos y desplazamiento de la placa Cocos	3-7
<b>Figura 3.2:</b>	Superficie de ruptura de la Brecha Sísmica de Nicoya	3-8
<b>Figura 3.3:</b>	Distribución de la profundidad de los segmentos definidos por Protti	3-9
<b>Figura 3.4:</b>	Secciones transversales de la sismicidad previa y posterior al terremoto de marzo de 1990	3-10
<b>Figura 3.5:</b>	Comparación entre los distintos modelos de atenuación	3-11
<b>Figura 3.6:</b>	Comparación de las relaciones de atenuación de Youngs et al con los registros de aceleraciones del sismo de Cóbano (1990)	3-11
<b>Figura 3.7:</b>	Atenuación de la aceleración pico para suelos y roca	3-12
<b>Figura 3.8:</b>	Aceleración pico en la zona del puente sobre el Río Tempisque	3-12
<b>Figura 3.9:</b>	Comparación entre las predicciones de Youngs et al y registros de sismos históricos.	3-12

<b>Figura 4.1:</b>	Falla por desplazamiento lateral	4-11
<b>Figura 4.2:</b>	Falla por oscilación del terreno	4-11
<b>Figura 4.3:</b>	Falla por flujo	4-11
<b>Figura 4.4:</b>	Falla por pérdida de capacidad soportante	4-12
<b>Figura 4.5:</b>	Relaciones entre probabilidad de licuación y categoría de susceptibilidad	4-13
<b>Figura 4.6:</b>	Relaciones para desplazamiento por corrimiento lateral	4-14
<b>Figura 4.7:</b>	Relación entre el factor de desplazamiento y la razón entre aceleración crítica y la aceleración inducida	4-16
<b>Figura 4.8:</b>	Curvas de fragilidad para varios daños en carreteras urbanas	4-16
<b>Figura 5.1:</b>	Relación entre la curva de fragilidad de un puente y sus componentes	5-10
<b>Figura 5.2:</b>	Curvas de fragilidad para puentes simplemente apoyados con diseño sísmo-resistente (HBR5)	5-11
<b>Figura 5.3(a):</b>	Delimitación del área de falla a partir de la localización del sismo principal de Limón y réplicas	5-12
<b>Figura 5.3(b):</b>	Diagrama esquemático que muestra la geometría de la falla del sismo de Limón	5-12
<b>Figura 5.4:</b>	Comparación entre las estimaciones de Joyner, Boore y Fumal con las aceleraciones registradas para el sismo de Limón	5-13
<b>Figura D.1:</b>	Curvas de fragilidad para varios tipos de daño en carreteras mayores	D-1
<b>Figura D.2:</b>	Curvas de fragilidad para varios tipos de daño en carreteras urbanas	D-1
<b>Figura D.3:</b>	Curvas de fragilidad para puentes simplemente apoyados con diseño sísmico en función de la aceleración pico horizontal.	D-2
<b>Figura D.4:</b>	Curvas de fragilidad para puentes simplemente apoyados con diseño convencional en función de la aceleración pico horizontal.	D-2
<b>Figura D.5:</b>	Curvas de fragilidad para puentes continuos con diseño sísmico en función de la aceleración pico horizontal.	D-3

<b>Figura D.6:</b>	Curvas de fragilidad para puentes continuos con diseño convencional en función de la aceleración pico horizontal.	D-3
<b>Figura D.7:</b>	Curvas de fragilidad para puentes de gran tamaño con diseño sísmico en función de la aceleración pico horizontal.	D-4
<b>Figura D.8:</b>	Curvas de fragilidad para puentes de gran tamaño con diseño convencional en función de la aceleración pico horizontal.	D-4
<b>Figura D.9:</b>	Curvas de fragilidad para puentes con diseño sísmico en función de la deformación permanente del terreno.	D-5
<b>Figura D.10:</b>	Curvas de fragilidad para puentes con diseño convencional en función de la deformación permanente del terreno.	D-5
<b>Figura E.1:</b>	Falla del acceso al puente sobre el Río Chirripó.	E-1
<b>Figura E.2:</b>	Bastión del puente sobre el Río Cuba.	E-2
<b>Figura E.3:</b>	Bastión del puente sobre el Río Blanco.	E-3
<b>Figura E.4:</b>	Asentamiento del acceso al puente sobre el Río Banano.	E-4
<b>Figura E.5:</b>	Caída de un tramo del puente sobre el Río Vizcaya.	E-5
<b>Figura E.6:</b>	Colapso del puente sobre el Río Bananito.	E-6
<b>Figura E.7:</b>	Colapso del puente sobre el Estero Negro.	E-7
<b>Figura E.8:</b>	Colapso del puente sobre el Río La Estrella.	E-8
<b>Figura F.1:</b>	Puente sobre el Río Tulín.	F-1
<b>Figura F.2:</b>	Puente sobre el Río La Mona.	F-2
<b>Figura F.3:</b>	Puente sobre el Río Agujas.	F-3
<b>Figura F.4:</b>	Puente sobre el Río Tarcolitos.	F-4
<b>Figura F.5:</b>	Puente sobre el Río Grande de Tárcoles.	F-5
<b>Figura F.6:</b>	Puente sobre el Río Jesús María.	F-6

---

<b>Figura F.7:</b>	Puente sobre el Estero Mata de Limón.	F-7
<b>Figura F.8:</b>	Puente sobre el Río Barranca (Ruta 23).	F-8
<b>Figura F.9:</b>	Detalle de apoyo en la pila.	F-8
<b>Figura F.10:</b>	Detalle de apoyos.	F-9
<b>Figura F.11:</b>	Paso a desnivel sobre la ruta 32.	F-9
<b>Figura F.12:</b>	Puente sobre el Río Barranca (Ruta 1).	F-10
<b>Figura F.13:</b>	Puente ferroviario sobre el Río Barranca.	F-11
<b>Figura F.14:</b>	Puente sobre el Río Naranjo.	F-12
<b>Figura F.15:</b>	Puente sobre el Río Ciruelas.	F-13
<b>Figura F.16:</b>	Puente sobre el Río Seco.	F-14
<b>Figura F.17:</b>	Puente sobre el Río Aranjuez.	F-15
<b>Figura F.18:</b>	Puente sobre el Río Guacimal.	F-16
<b>Figura F.19:</b>	Puente sobre el Río Lagarto.	F-17
<b>Figura F.20:</b>	Detalle de unión de las cerchas del puente sobre el Río Abangares.	F-12
<b>Figura F.21:</b>	Puente sobre el Río Higuerón.	F-19
<b>Figura F.22:</b>	Puente sobre el Río Cañas.	F-20
<b>Figura F.23:</b>	Puente sobre el Río Corobicí.	F-21
<b>Figura F.24:</b>	Puente sobre el Río Tenorio.	F-22
<b>Figura F.25:</b>	Puente sobre el Río Blanco.	F-23
<b>Figura F.26:</b>	Puente sobre el Canal Oeste de Riego.	F-24
<b>Figura F.27:</b>	Puente sobre el Río Piedras.	F-25
<b>Figura F.28:</b>	Puente sobre el Río Pijije.	F-26

---

<b>Figura F.29:</b> Puente sobre el Río El Salto.	F-27
<b>Figura F.30:</b> Puente sobre el Río Liberia.	F-28
<b>Figura F.31:</b> Puente sobre el Río Santa Inés.	F-29
<b>Figura F.32:</b> Puente sobre el Río Colorado.	F-30
<b>Figura F.33:</b> Puente sobre el Río Irigaray.	F-31
<b>Figura F.34:</b> Puente sobre el Río Ahogados.	F-32
<b>Figura F.35:</b> Puente sobre el Río Azufrado.	F-33
<b>Figura F.36:</b> Puente sobre el Río Tempisquito.	F-34
<b>Figura F.37:</b> Puente sobre el Río Tempisque.	F-35
<b>Figura F.38:</b> Puente viejo sobre el Río Tempisque.	F-36
<b>Figura F.39:</b> Puente sobre el Río Belén.	F-37
<b>Figura F.40:</b> Puente sobre el Río Cañas.	F-38
<b>Figura F.41:</b> Puente sobre el Río En Medio.	F-39
<b>Figura F.42:</b> Puente sobre el Río Diría.	F-40
<b>Figura F.43:</b> Detalla de apoyo móvil.	F-41
<b>Figura F.44:</b> Puente sobre el Río Marote.	F-41
<b>Figura F.45:</b> Puente sobre el Río Sardinal.	F-43
<b>Figura F.46:</b> Puente sobre el Río Toyosa.	F-44
<b>Figura F.47:</b> Puente sobre el Río Coyolito.	F-45
<b>Figura F.48:</b> Puente sobre el Quebrada Lima.	F-46
<b>Figura F.49:</b> Puente sobre el Río Andamojo.	F-47
<b>Figura F.50:</b> Puente sobre el Río Tabaco.	F-48
<b>Figura F.51:</b> Puente sobre el Río Cuajiniquil.	F-49



<b>Figura F.52:</b> Puente sobre el Río Nosara.	F-50
<b>Figura F.53:</b> Puente sobre el Río Garza.	F-51
<b>Figura F.54:</b> Puente sobre el Río Bejuco.	F-52
<b>Figura F.55:</b> Puente sobre el Río Juan de León.	F-53
<b>Figura F.56:</b> Puente sobre el Río Guajiniquil.	F-56
<b>Figura F.57:</b> Puente sobre la Quebrada Tigra.	F-55
<b>Figura F.58:</b> Puente sobre el Río Potrero.	F-56
<b>Figura F.59:</b> Puente sobre el Río Pánica.	F-57
<b>Figura F.60:</b> Detalle de apoyo	F-57
<b>Figura F.61:</b> Puente sobre el Río Cecilia.	F-58
<b>Figura F.62:</b> Puente sobre la Quebrada Honda.	F-59
<b>Figura F.63:</b> Puente sobre la Quebrada Piñuela.	F-60
<b>Figura F.64:</b> Puente sobre el Río Santa Rosa.	F-61
<b>Figura G.1:</b> Partes principales de un bastión.	G-4
<b>Figura G.2:</b> Losa de acceso.	G-5
<b>Figura G.3:</b> Armazón de un puente de paso inferior.	G-5
<b>Figura G.4:</b> Detalle de piso.	G-6
<b>Figura G.5:</b> Detalle de apoyo simple.	G-6
<b>Figura G.6:</b> Larguero y viga de piso.	G-7
<b>Figura G.7:</b> Placa de unión.	G-8
<b>Figura G.8:</b> Junta de expansión.	G-8
<b>Figura G.9:</b> Partes de un marco rígido.	G-9

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 4.1:</b>	Porción del mapa susceptible a la licuación	4-12
<b>Tabla 4.2:</b>	Relaciones de probabilidad de licuación para cada categoría de susceptibilidad	4-13
<b>Tabla 4.3:</b>	Aceleración del terreno (PGA(t)) que corresponde a cero probabilidad de licuación	4-14
<b>Tabla 4.4:</b>	Grupos geológicos para la determinación de la probabilidad de deslizamiento	4-15
<b>Tabla 4.5:</b>	Aceleración crítica ( $a_c$ ) para cada categoría de susceptibilidad	4-15
<b>Tabla 4.6:</b>	Categorías de daño como función de la deformación permanente del terreno	4-17
<b>Tabla 5.1:</b>	Clasificación de puentes	5-10
<b>Tabla 5.2:</b>	Valor medio de aceleración pico como función de los daños de los puentes	5-11
<b>Tabla 5.3:</b>	Registros de aceleración horizontal del sismo de Limón	5-12
<b>Tabla 5.4:</b>	Puentes utilizados para el análisis de daños de Limón	5-13
<b>Tabla 5.5:</b>	Comparación de los daños esperados utilizando el método RMS, con el daño real observado	5-14
<b>Tabla 5.6:</b>	Código y daño esperado en cada puente debido a la aceleración del terreno	5-15
<b>Tabla 5.7:</b>	Estados de daños en puentes de acuerdo con la Deformación permanente del Terreno	5-16
<b>Tabla 5.8:</b>	Código y daño esperado en cada puente, debido a los efectos de licuación del terreno.	5-16
<b>Tabla 5.9:</b>	Código y daño esperado en cada puente debido a los efectos de aceleración del terreno y licuación	5-17
<b>Tabla A.1:</b>	Parámetros de regresión, de acuerdo con Young et al	A-1
<b>Tabla A.2:</b>	Valores recomendados de velocidad de la onda de corte	A-2

## ÍNDICE DE MAPAS

<b>Mapa 3.1:</b>	Posible área de falla del Terremoto de Nicoya	3-14
<b>Mapa 3.2:</b>	Procedimiento utilizado para determinar la aceleración pico en el terreno	3-15
<b>Mapa 3.3:</b>	Distribución espacial de la aceleración pico	3-16
<b>Mapa 4.1:</b>	Procedimiento utilizado para determinar las zonas con mayor aptitud para la ocurrencia de licuación	4-18
<b>Mapa 4.2:</b>	Zonas con susceptibilidad a la ocurrencia de licuación	4-19
<b>Mapa 4.3:</b>	Deformaciones permanentes del terreno por licuación	4-20
<b>Mapa 4.4:</b>	Procedimiento utilizado para determinar las deformaciones permanentes del terreno por deslizamientos	4-21
<b>Mapa 4.5:</b>	Deformaciones permanentes del terreno por deslizamientos	4-22
<b>Mapa 4.6:</b>	Principales carreteras de Guanacaste	4-23
<b>Mapa 4.7:</b>	Distribución de daños esperados en carreteras	4-24
<b>Mapa 5.1:</b>	Distribución espacial de la aceleración pico en Limón	5-18
<b>Mapa 5.2:</b>	Daños calculados en los puentes de la zona de Limón	5-19
<b>Mapa 5.3:</b>	Inventario de puentes en la zona de estudio	5-20
<b>Mapa 5.4:</b>	Intensidad de daños en puentes debido a la aceleración pico.	5-21
<b>Mapa 5.5:</b>	Intensidad de daños esperados por efecto combinado de aceleración pico y licuación en los principales puentes de la región.	5-22
<b>Mapa 5.6:</b>	Intensidad de daños por licuación en puente	5-23
<b>Mapa B.1:</b>	Atenuación de la aceleración pico en roca	B-1
<b>Mapa B.2:</b>	Atenuación de la aceleración pico para suelos	B-2
<b>Mapa B.3:</b>	Mapa geológico de la zona de Guanacaste	B-3
<b>Mapa B.4:</b>	Mapa de pendientes	B-4