

Capítulo I Introducción

1.1 Justificación

La estructura del suelo provoca una transformación de la señal sísmica que viaja de la roca a la superficie y se evidencia en una modificación de su amplitud y frecuencia. Dicho cambio puede variar los períodos predominantes del movimiento del suelo, de tal forma que coincidan con los períodos naturales de las estructuras civiles causando graves daños como consecuencia del fenómeno de resonancia.

En los últimos años gran cantidad de estructuras, tales como edificios públicos y privados, condominios, casas de habitación, naves industriales, iglesias, edificios comerciales y la infraestructura hídrica (canales de riego, avenamiento y pozos perforados y excavados) han sido dañados por eventos sísmicos, de aquí la importancia de estudiar las características del suelo y la vulnerabilidad de las estructuras.

La ubicación geotectónica de nuestro país, lo hace ser uno de los países de mayor actividad sísmica. La Península de Nicoya, situada cerca de dos segmentos de la placa oceánica de Coco con características diferentes (Hey, 1977; Burbach, Frolich, Pennington & Matumoto, 1984; Barquero, 1990; Protti, Guendel & McNally, 1995, entre otros), ha sido el centro de atención de muchos investigadores en sismotectónica. A lo anterior se suma el origen y modo de emplazamiento de las rocas más antiguas (Calloviano; según Baumgartner, 1984) para el Complejo de Nicoya de lo cual existen varios modelos, como por su alta sismicidad tanto histórica como reciente y su cercanía a la fosa Mesoamericana.

En la parte sureste de la Península de Nicoya se alinea noreste – suroeste el límite suave rugoso (Hey, 1977), el cual representa un límite de corteza fósil entre dos centros de dispersión diferentes (fig1.1). Uno lo representa el segmento de la placa Coco generada en el levantamiento del Pacífico Este y que subduce debajo de Nicaragua y noroeste de Costa Rica. La otra parte de la placa Coco es generada en el Centro de Dispersión de las Galápagos (Galapagos Hot Spot) o Punto Caliente de las Galápagos y subduce debajo de la parte central y sureste de Costa Rica (Protti, Güendel & McNally, 1995) (fig1.1). Además existen diferencias tanto en las velocidades de acreción como en la edad de ambos segmentos de corteza oceánica de la placa Coco.

El levantamiento de Coco representa una traza del paso de la placa Coco por el Punto Caliente de las Galápagos (Hey, 1977) y tiene una orientación N45°E (fig1.1). Se calcula que dicho levantamiento colisionó con la actual fosa Mesoamericana hace unos 2-2.5 m.a., lo que impuso un régimen de esfuerzos que predomina actualmente. Lo anterior representa un estudio neotectónico en un rango de edad entre 1-2 m.a. hasta el presente.

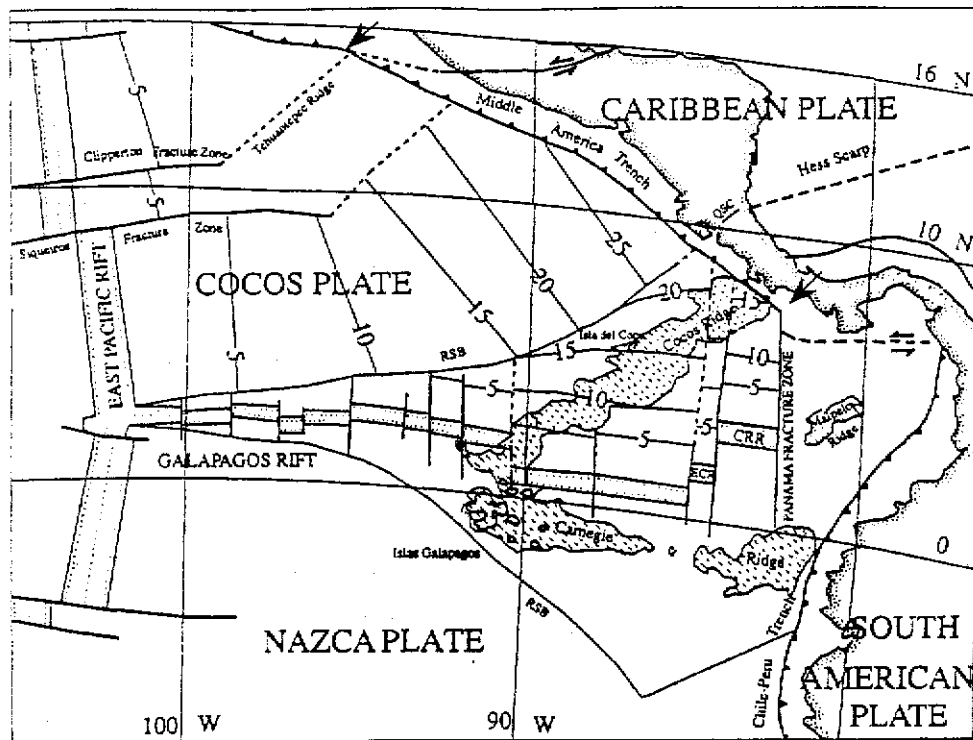


Fig 1.1: Distribución de la edad de la litosfera en m.a. de la placa Cocos. Las isocronas siguen el patrón de anomalías magnéticas reportado del mapa base y de las proyecciones de las razones de expansión de las dorsales del Pacífico Este y de las Galápagos. Las bandas punteadas representan la litosfera oceánica creada durante los últimos millones de años. Los levantamientos del Cocos Malpelo y Carnegie se muestran por el contorno equivalente a los 2000 metros. RSB es el límite suave-rugoso de Hey, 1977. Ambos límites dividen la litosfera de la placa Cocos creada a lo largo de la dorsal de las Galápagos y la creada en la dorsal del Pacífico Este. El límite sur (RSB) corresponde con el límite de la placa Nazca. QSC es la Contorsión Abrupta de Quesada. Las dos flechas de arriba hacia abajo señalan las uniones triples entre las placas Norteamericana-Coco-Caribe y Caribe-Coco-Nazca respectivamente (Tomado de Protti et al., 1995).

Por otro lado Montero & Morales (1990) relacionan los esfuerzos neotectónicos con la convergencia oblicua entre las placas Cocos y Caribe. La reinterpretación del origen de estos esfuerzos incluye la rotación observada en las trayectorias de los esfuerzos neotectónicos desde el antearco al arco interno.

Lo anterior explica de alguna manera el ambiente geotectónico en que se encuentra el área de la Península de Nicoya y en un marco más regional el Istmo Centroamericano, donde se encuentran dos puntos triples entre las placas Norteamericana - Cocos - Caribe y Caribe - Cocos - Nazca (fig 1.1).

Algunos investigadores en sismotectónica han propuesto la ocurrencia de posibles eventos sísmicos de subducción frente a la Península de Nicoya de magnitud importante (Güendel, 1986; Nishenko, 1989; Protti, 1991; Nishenko, 1991; Protti et al., 1995; Protti, Güendel y McNally, 1995). Los investigadores han propuesto un área de ruptura en la zona de Wadatti - Benioff que se extiende en superficie desde Marbella hasta Corozalito (fig 1.2), que puede estar relacionado con las diferencias en las acumulaciones de esfuerzos quizás debidas a la segmentación de la placa Cocos cerca de esta área con diferencias en las velocidades de acreción y de subducción.

En Costa Rica se han desarrollado estudios de amplificación sísmica sobre todo en el Valle Central: Gallegos (1980); Valverde (1981); Pujol & Castro (1981); Vargas (1987); Taylor (1994); Ramírez et al. (1994); Ramírez (1995) y Boschini & Flores (1997, en preparación). Sin embargo el área de la Península de Nicoya y la cuenca del Tempisque ha sido y es un área poco estudiada en este sentido, a pesar de que presenta características de alta sismicidad y grandes rellenos aluviales que la clasifican como una zona de alto riesgo a la amplificación de la señal sísmica.

El presente proyecto de tesis surgió a raíz del Proyecto de Investigación V.I. 321-96-578 del Programa de Ingeniería Sísmica del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) de la Universidad de Costa Rica en convenio con el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento (SENARA), para la Evaluación del Impacto Ingenieril de un Terremoto en la Península de Nicoya, financiado por la Comisión Nacional de Emergencias (CNE).

Dicho proyecto pretende complementar tal investigación en los aspectos de amplificación sísmica en suelo blando (aluvión y sedimentos lacustres). Sumado a esto se pretende establecer un marco geológico y sismológico del área de la Península de Nicoya con el fin de complementar y obtener mayor información para dicho estudio.

1.2 Objetivos

Objetivo General de Trabajo

Delimitar las áreas que pueden estar sujetas a la amplificación sísmica, derivada de la presencia de depósitos aluviales cuaternarios en la Península de Nicoya y parte de la cuenca del Tempisque.

Objetivos Específicos

1. Determinar una correlación directa o indirecta entre las características de la fuente sísmica y la amplificación de la señal sísmica en la superficie de los depósitos aluviales.
2. Seleccionar un método de análisis teórico y práctico para la evaluación de la amplificación sísmica en los depósitos aluviales del área de estudio.
3. Determinar mediante la simulación del movimiento oscilatorio del terreno a partir de un registro acelerográfico de uno o más sismos registrados en roca, los valores de frecuencias predominantes en las máximas amplitudes de aceleración y velocidad en los depósitos aluviales del área de estudio, de tal forma que se puedan generalizar a toda el área de estudio.
4. Determinar cuáles propiedades físicas de los depósitos aluviales cuaternarios son de mayor importancia para efectos del estudio, y a la vez obtener valores que se puedan generalizar al área de estudio correlacionado con áreas de condiciones geológicas similares.

Objetivos Específicos de Trabajo

1. Establecer el marco geológico y sismológico del área de estudio con el fin de obtener los parámetros geológicos necesarios y de correlación para el estudio de la amplificación sísmica.
2. Revisión de las características de la fuente sísmica según estudios hasta ahora realizados en el área de estudio en tanto que afectan las características del movimiento sísmico en los depósitos aluviales y lacustres cuaternarios.
3. Desarrollar una metodología general de trabajo que permita obtener valores de amplificación sísmica y los principales factores involucrados.

4. Contribuir con información geológica y sísmológica en los proyectos de ordenamiento territorial (Mapa Geológico, Mapa de Tipos de suelos, Valores espectrales de aceleración y velocidad con los principales factores involucrados para zonificación sísmica, etc), como un medio por el cual se puede reducir el riesgo a los fenómenos geológicos.

1.3 Ubicación del área de estudio

El área de estudio abarca la parte central y norte de la Península de Nicoya, incluyendo gran parte de la Cuenca del Tempisque, correspondiendo con las hojas topográficas a escala 1/50000: Punta Gorda, Carrillo Norte, Monteverde, Matapalo, Belén, Tempisque, Villarreal, Diríá, Talolinga, Cerro Brujo, Matambú, Garza, Marbella y parte de la Hoja Curubandé (fig 1.3).

1.4 Metodología

Se partió de un estudio preliminar de amplificación sísmica realizado entre el Programa de Ingeniería Sísmica (LANAMME) en convenio con el SENARA, denominado "Vulnerabilidad Sísmica de la Infraestructura Hidrica de la Península de Nicoya", realizado para la Comisión Nacional de Emergencias. Dicho estudio sirvió de base metodológica sin embargo esta fue modificada en algunos aspectos con el fin de mejorar la metodología de trabajo y comparar los resultados. Esta base metodológica se expone en parte a continuación, sin embargo algunos aspectos de esta metodología ya han sido expuestos en el trabajo preliminar, y por lo tanto no se tratarán en este estudio. La primera etapa consistió en la recopilación de informes de estudios técnicos de geofísica, geología e hidrogeología en el (SENARA). A lo anterior le precedió el seleccionar 17 pozos ubicados en el área de estudio, con registro de resistividad eléctrica, de los cuales se obtuvo la litología (fig. 6.1 y Anexo 2). La ubicación y la información litológica de los pozos se obtuvo con base en el archivo de pozos del SENARA. Con lo anterior fue posible recopilar parte de la información geofísica y litológica para obtener los parámetros necesarios que el programa SHAKE (EduPro Civil Systems, Inc., 1998) utiliza para el análisis de respuesta sísmica del terreno.

Se consideró necesario para el estudio establecer el marco geológico, geotectónico y sismológico del área de estudio. La geología del área se obtuvo a partir de los mapas de isopacas del estudio "Estructura Geológica Cuaternaria del Norte y Centro de la Península de Nicoya" por Denyer, Arias & Hernández (1993) realizado a escala 1/50000, este permitió establecer el límite geológico entre los depósitos aluviales cuaternarios y la roca. Las hojas topográficas que incluye dicho estudio son las siguientes: Punta Gorda, Carrillo Norte, Matapalo, Belén, Tempisque, Villarreal, Diríá, Talolinga, Cerro Brujo, Matambú y Garza (fig 1.3). Se utilizó también el cartografiado geológico a escala 1/50000 según Denyer & Arias (1992), correspondiente con las Hojas Punta Gorda, Belén, Matapalo y Carrillo Norte. El resto de la geología se obtuvo con base en los mapas geológicos a escala 1/200000 (Hojas Nicoya y Liberia) según Sáenz (1982). También se obtuvo información de las tesis de grado Faunaoli & Rossi (1991) y Arias (1998), donde se incluyen las Hojas Monteverde y Curubandé ambas a escala 1/50000 y del Mapa Geológico de Costa Rica a escala 1/500000 según Tournon y Alvarado (1995).

La información geológica se incorporó en un Sistema de Información Geográfica (SIG) para la elaboración de los mapas y figuras. Con base en un mapa geológico preliminar y tipos de suelos, se definieron las áreas de depósitos aluviales que pueden ser los que más modifiquen la señal sísmica según se ha observado con base en las experiencias de terremotos históricos y recientes.

Los datos de entrada necesarios para la operación del programa SHAKE, para el análisis de amplificación sísmica son cuatro:

1. Movimiento de entrada
2. Profundidad y espesor en metros de cada subcapa
3. Densidad de cada subcapa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) dado en peso unitario (kN/m^3)

4. Módulo dinámico de corte $G = \rho (V_s)^2$ en MPa, para el cual se necesita obtener la velocidad de onda cortante (V_s) y la densidad en cada estrato y a cada profundidad.

Estos parámetros se obtuvieron mediante correlaciones de velocidades sísmicas y densidades obtenidas a partir de diversas fuentes que se presentan en el Capítulo VI. También mediante criterios geológicos y geotécnicos e ingenieriles, y con información de perfiles estratigráficos de pozos hidrogeológicos y estudios de geofísica en el área como se mencionó anteriormente.

Se utilizaron como movimientos de entrada los sismos de Limón (22 de abril, 1991), con magnitud momento ($M_w=7.6$; Laboratorio de Ingeniería Sísmica, UCR) y registrado en roca en la estación acelerográfica de Cachí, y el sismo de Loma Prieta (17 de octubre, 1989) con magnitud local ($M_L=7.1$) y registrado en roca en la estación de la Isla Yerva Buena, California.

La metodología de trabajo anterior permitió definir el perfil geológico y asignar los parámetros físicos y geofísicos de cada perfil geológico para la operación del programa SHAKE. Los resultados de esta parte del estudio se presentan en el Capítulo VII. Sin embargo debe ser claro la necesidad de geofísica de campo (p.ej. refracción sísmica) combinado con ensayos de laboratorio para definir las propiedades in situ de áreas representativas de la región de estudio. Este estudio no puede sustituir estudios locales de respuesta sísmica del suelo ante cargas sísmicas debido básicamente a la escala de trabajo.

Finalmente con la base teórica y de reconocimiento en los aspectos geológicos y sismológicos del área de estudio, se hace una correlación de como influyen éstos en la amplificación de la señal sísmica. contenido de frecuencias, duración y otros parámetros de amplitud según el método lineal equivalente y de propagación unidimensional (vertical) de ondas cortantes en que se basa el análisis del programa SHAKE. La señal sísmica de entrada es considerada en aspectos muy importantes como duración, amplitud máxima y contenido de frecuencias. Estos aspectos dependen de las características de la fuente sísmica y de la trayectoria de la señal hasta los depósitos aluviales considerados como suelo blando en este estudio.