
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

La evaluación de los daños esperados por un terremoto en los componentes del sistema vial (por ejemplo, en puentes y carreteras) se lleva a cabo en dos etapas, la primera implica la determinación del impacto del terremoto en el terreno (incluyendo aceleración pico del terreno, licuación y deslizamientos), y la segunda consiste en la correlación de estos impactos con el comportamiento de las carreteras y puentes en estudio.

En la primera parte se presentan las mayores incertidumbres, debido a la falta de información histórica de sismos en la zona de Nicoya, así como lo complejo de los fenómenos de atenuación de la onda sísmica y de los mecanismos de licuación y deslizamiento del terreno. Para el análisis de daños, se parte de un sismo hipotético, caracterizado de acuerdo con los criterios expresados por el OVSICORI (Ref. 15, 20, y 27). Este organismo sugiere que ocurrirá un terremoto de magnitud cercana a $M_w=7.5$, originado por subducción frente a las costas de Playa Sámara (zona denominada *Brecha Sísmica de Nicoya*). La magnitud se define en función de la energía acumulada en la brecha, de la capacidad física de resistencia de las rocas en la zona de acople, y de acuerdo con el comportamiento histórico de la sismicidad nacional.

Sin embargo, no es posible definir el área de ruptura con precisión, ya que lo que se conoce es la zona dentro de la cual el sismo puede ocurrir (*Brecha Sísmica de Nicoya*), delimitada por las réplicas de los sismos de Cóbano (1990) y de Rivas, Nicaragua (1992). La ruptura de toda esta área correspondería al sismo máximo creíble, que se ha estimado en 8.1, por lo que para el sismo de 7.5 de magnitud se consideró un área menor (aproximadamente un 80% del total) y con ubicación concéntrica a la Brecha de Nicoya. La ocurrencia del sismo con una zona de ruptura diferente, afectaría fuertemente los resultados obtenidos en este trabajo, ya que las relaciones de atenuación de la aceleración pico dependen directamente de la distancia al área de ruptura.

La distribución espacial de la aceleración pico se obtuvo a partir de las relaciones de atenuación de *Youngs et al* (Ref. 28), derivadas para zonas de subducción de distintas partes del mundo. El estudio de *Youngs et al* se considera el más reciente (1997) y más completo que se ha publicado para subducción. Su aplicabilidad se revisó con los registros de aceleraciones del Terremoto de Cóbano de 1990, obteniéndose buenos resultados. Así mismo, los resultados obtenidos para el sismo de Nicoya se revisó con el estudio de riesgo sísmico del puente sobre el Río Tempisque de INSUMA (Ref. 8).

La determinación de la intensidad de daños esperados en carreteras y puentes se determinó utilizando el método de la "*Risk Management Solutions, Inc*" (Ref. 19), quienes han aplicado el método a Los Angeles (EE.UU., Ref. 16), San Francisco (EE.UU., Ref. 17) y Tokio (Japón,

Ref. 18). Debido a que este método nunca ha sido aplicado en el territorio nacional, se decidió revisar su aplicabilidad a la infraestructura de Costa Rica. Puesto que se cuenta con una gran cantidad de información acerca de las características del Terremoto de Limón de 1991 y de los daños ocasionados en puentes (Ref. 22, 23 y 25), se decidió aplicar el método en Limón para comparar la intensidad de daños esperadas con aquellas observadas tras el terremoto. El método dio resultados acertados en la mayoría de los puentes, y en aquellos en los que no coincidió perfectamente, el nivel de daños calculado fue levemente mayor al nivel de daños observado.

La aplicación del método para determinar la intensidad de daños en carreteras y puentes de la Península de Guanacaste y zonas aledañas, permite establecer cual es la infraestructura más vulnerable a la ocurrencia del Sismo de Nicoya, y determinar así las zonas más propensas a quedar aisladas por daños en el sistema vial. En el caso de carreteras, debe considerarse los graves daños que se esperan en la ruta 21 (que comunica Liberia con Santa Cruz y Nicoya) y en la ruta 160 (que une Playa Naranjo con Sámará, y Nosara). La inhabilitación de estas dos rutas hace que el sistema pierda su redundancia, aislando la punta de la Península de Nicoya. El problema de aislamiento es mayor si se considera que casi la totalidad de los puentes ubicados sobre la Península de Nicoya sufrirán un daño general o un daño total, causando un gran impacto en los costos de reparación o reconstrucción de las vías.

Por su parte, en la carretera Interamericana casi no se dañará la carpeta asfáltica, aunque sí se vería afectada por daños menores que sufrirían algunos puentes. La falla de estos puentes interrumpiría el flujo sobre esta importante vía, causando un fuerte impacto económico debido a que la ruta es muy utilizada para exportaciones e importaciones de productos.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar las intensidades de daños reportadas para carreteras y puentes como un instrumento para fijar cual infraestructura debe someterse a un análisis más detallado, estableciendo las prioridades de estudio en función de la intensidad de daños reportadas en este informe.

Se recomienda iniciar estudios específicos en los puentes sobre los ríos Belén, Diría, Tempisque (tanto el puente *viejo* como el *nuevo*), Garza, Bejuco, Juan de León, Guajiniquil, Maroto, Nandayuri, Cecilia, Sardinal y la Quebrada Tigra. En estos se esperan los mayores daños en puentes (daño general), y su falla conllevaría el aislamiento del sector sur de la Península de Nicoya.

Por su parte, se recomienda evaluar medidas correctivas que disminuyan la vulnerabilidad del sistema vial de Guanacaste, especialmente el sector cercano a las rutas 21 (entre Liberia y Carmona) y la ruta 160 (entre Playa Naranjo y Nosara), ya sea por mejoramiento de los suelos de cimentación y de los taludes de las carreteras, o agregando redundancia dentro del sistema vial.