

Evaluación de Puentes para Determinar la Probabilidad de Vulnerabilidad y Criticidad ante Ataques Terroristas

*Andrés Ramón López Cruz
Ingeniería Civil
Carlos González, PhD.
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Abstracto—*Los recientes acontecimientos en todo el mundo han puesto en claro la necesidad de comprender y evaluar la vulnerabilidad del sistema de infraestructura civil a ataques terroristas ya que representan una amenaza real para todos los aspectos de la sociedad. En los últimos años, la vulnerabilidad de la infraestructura de transporte para el terrorismo se ha hecho evidente. Los medios de transporte son objetivos atractivos para los terroristas debido a que son de fácil acceso, y un ataque podría tener un impacto considerable en las vidas humanas y en la actividad económica. Esto especialmente en las vías de transporte, tales como puentes, carreteras y caminos alternos donde no están disponibles debido a restricciones geográficas. Mientras que las estructuras grandes pueden ser altamente vulnerables como blancos simbólicos. Un ataque exitoso podría interrumpir el tráfico regional y tener graves consecuencias económicas. Aunque la probabilidad de un ataque es muy leve, difícil de cuantificar y lleno de incertidumbre pero las consecuencias en la mayoría de los casos sería devastador.*

Palabras Claves—*Protección de Infraestructuras Críticas, Terrorismo, Transportación, Vulnerabilidad.*

INTRODUCCIÓN

Ha sido ampliamente reconocido que un ataque contra un objetivo estratégico puede tener enormes consecuencias estructurales, tácticas, sociales, económicas y de salud. Los peligros naturales o accidentales (por ejemplo, terremoto y colisiones accidentales de buques) se han tenido en cuenta en el proceso de diseño desde hace bastante tiempo,

sin embargo la idea de considerar los eventos intencionales y maliciosos (por ejemplo, ataques terroristas) sigue siendo un concepto relativamente nuevo.

Una metodología de evaluación es necesaria para proporcionar a los dueños de la infraestructura con un medio racional para comparar y contrastar la vulnerabilidad estructural de un puente a los ataques terroristas, así como la criticidad de un puente con respecto a otros puentes del mismo dueño. El resultado más importante de la metodología propuesta es la clasificación de la vulnerabilidad y la criticidad de las estructuras específicamente a las amenazas terroristas sobre la base de diversas medidas racionales.

Esta metodología propuesta permitirá a los dueños tener en cuenta la gama de posibles resultados físicos asociados a los ataques terroristas y para calcular las posibles consecuencias de esos resultados. La síntesis de la información sobre la respuesta estructural y la medida de la consecuencia asociada proporcionará un medio para evaluar y clasificar las vulnerabilidades de la infraestructura.

Existe incertidumbre acerca de todos los asuntos relativos a los ataques terroristas que van desde la magnitud, ubicación y momento de los ataques potenciales a la respuesta física o el rendimiento de la estructura de un ataque. Así que, los dueños de infraestructura deben comprender no sólo las amenazas potenciales, sino también la respuesta esperada de sus estructuras y las consecuencias asociadas.

Como un ejemplo específico, las columnas de un puente en una región sísmica se requiere que sean capaces de resistir fuertes cargas laterales, además de la carga de gravedad axial (simple

inspección visual mostrará que las columnas en regiones sísmicas son mucho más gruesas que las de las regiones no sísmicas). Así pues, dado el evento de una explosión, que ejerce presiones tridimensionales (presión lateral contra las columnas y las presiones verticales contra la cubierta y las vigas), las columnas diseñadas para resistir una mayor carga lateral pueden funcionar mejor que las diseñadas principalmente para la carga de gravedad. Sin embargo, los beneficios exactos (y las trampas potenciales) de las normas de diseño sísmico sobre el rendimiento de explosión son un área muy reciente de investigar.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cualquier sistema de infraestructura crítica representa una inversión enorme a la riqueza de nuestra nación, y los obstáculos de menor importancia a los componentes del sistema pueden ser al azar o deliberadas seriamente ya que degradan su rendimiento, así como el desempeño de los sistemas dependientes. Nos centramos en la defensa de este tipo de infraestructura de los ataques terroristas, pero creemos que casi cualquier tipo de infraestructura crítica merece un análisis con las técnicas que describimos. El nuevo paradigma debe tener en cuenta la capacidad del adversario para recolectar información sobre un sistema de infraestructura y utilizar esa información para identificar los puntos débiles de la arquitectura del sistema.

Objetivo

La metodología propuesta tiene como objetivo presentarle a los dueños de la infraestructura una nueva herramienta que no sea prescriptiva, pero consistente y adaptable que se pueda utilizar para diferenciar racionalmente esas zonas dentro de una red de transporte (puente) con mayor necesidad de mitigación y aquellas que (porque los fondos son limitados) puedan ser ignorados o para aquellas que puedan esperar por una mitigación.

REVISIÓN DE LITERATURA

Un algoritmo de análisis creado por [1] presenta (en términos simples) la utilización de un programa escrito en forma independiente por el analista (en comparación con el uso de un software de análisis estructural) para realizar la evaluación. Con el fin de realizar una exanimación preliminar de los efectos de la carga dinámica en los puentes, un simple algoritmo en MATLAB© (Mathworks 2003) fue desarrollado para modelar la imposición de una carga dinámica en una estructura de soporte simple.

El algoritmo utilizado ejecuta comportamiento elástico-lineal, de varios grados de libertad del análisis dinámico. Se trata de un modelo simplificado que incluye aproximación de la carga de explosión como un pulso triangular equivalente (una aproximación relativamente aprobada en la práctica).

Una breve descripción de este simple algoritmo se presenta en la Figura 1.

Cuantificar el suceso origen por tres componentes: la localización del centroide del ataque a lo largo del tramo principal (X_L) longitudinalmente, la ubicación del centroide de la explosión verticalmente (X_D), y la cantidad de TNT (dinamita) equivalente en el explosivo (E_{TNT}). La Figura 2 muestra las variables X_L y X_D , así como un esquema de la resolución de las fuerzas de explosión basado en X_L , X_D y la magnitud explosión, E_{TNT} .

Asumieron que los parámetros de la localización de la explosión están distribuidos uniformemente sobre la longitud y ancho del puente. Esto implica cualquier ubicación a lo largo del puente que tiene una probabilidad igual de tener la bomba colocada debajo de él. Esta hipótesis, en general se basa en la falta de conocimiento acerca de donde un terrorista probablemente colocaría la bomba. Más información acerca de los posibles escenarios de amenaza podría producir una distribución con menor entropía.

La magnitud de una explosión se modela con una distribución triangular basado en la información contenida en (AASHTO / FHWA 2003). Suponiendo que un explosivo industrial se utiliza y utilizando un método comúnmente disponibles para el cálculo de la equivalencia TNT (los detalles de los cuales no son el alcance de este documento pero están disponibles en muchas fuentes, tales como [2][3](Baker 1973; Kinney y Graham 1985)., Se obtuvo una distribución triangular de magnitud de la explosión.

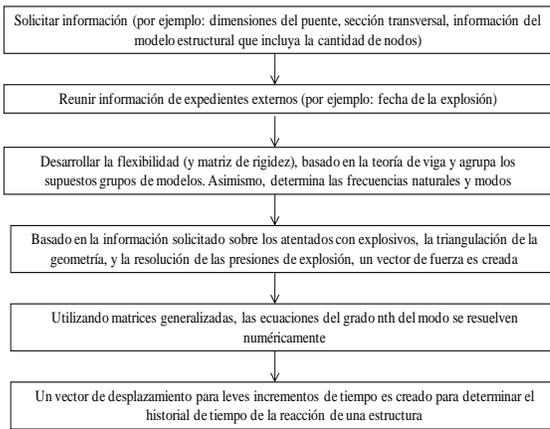


Figura 1
Descripción del Algoritmo

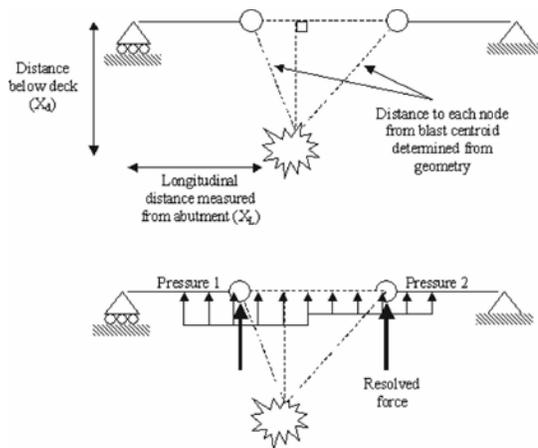


Figura 2
Esquemático de Variables Aleatorias que Comprenden Eventos con Explosivos

Midieron daños basados en el desplazamiento máximo nodal (δ_{max}) y la cantidad de la plataforma dañada (D_d). Los daños se basan en un criterio

basado en la deflexión (en lugar de, por ejemplo, una formulación de estrés) para facilitar la explicación y de porque el algoritmo deriva salidas de desplazamiento nodal en el historial de tiempo de la reacción.

El Departamento de Transporte de California ofrece costos comparativos de puentes para ser utilizado como "Directrices generales para la selección del tipo de estructura y su costo relativo." (California Department of Transportation January 2005) [5] Teniendo en cuenta los datos de estimación CALTRANS asumieron un costo de \$180/ft² de plataforma dañada y la función de costo se define en la Ecuación (1):

$$Costo\ Total = \left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n \frac{a * c}{D} x_i, si\ x < D \\ F, si\ x \geq D \end{array} \right\} \quad (1)$$

Donde:

- X_i = Desplazamiento en el nodo i
- n = numero de nodos en el modelo = 5
- a = área de plataforma atribuido en cada nodo = (11 ft²)
- c = costo para reparar ft² de plataforma = \$180/ft²
- D = desplazamiento critico = 10 pulgadas
- F = Costo para reemplazar el puente (costo de falla) = área de plataforma * \$180/ft² = \$526,320

Basándose en la información del pre-análisis para los pasos de toma de decisión, se ha decidido que el suceso origen incluirá en la ubicación del centroide de la explosión longitudinalmente (X_L) y la distancia vertical debajo de la plataforma (X_D), así como la magnitud de la explosión (E_{TNT}). A continuación, la simulación de Monte Carlo fue realizada para simular cada variable que fueron tomados de las distribuciones seleccionadas (uniforme y triangular como se discutió previamente). 100 simulaciones se llevaron a cabo y por lo tanto 100 valores de X_L y X_D se seleccionaron a partir de la distribución uniforme. X_L fue seleccionado de una distribución uniforme variando de cero a la longitud del puente (43 pies)

en valores enteros. Se asume X_D que van desde 9 a 12 pies debajo de la plataforma en valores enteros.

Luego analizan la estructura en cada uno de los sucesos origen simulado y se registra la reacción estructural mediante el registro de los desplazamientos máximos nodales y el desplazamiento máximo (de cualquier nodo) experimentada por la estructura.

Después de realizar todas las simulaciones y análisis de la estructura en cada escenario, se calculan los costos de los daños para comenzar a analizar los resultados. La primera forma de análisis es la determinación de una distribución de los daños (reacción estructural). Es decir, obtenemos $F[C(D)|T_i]$.

Las distribuciones de los daños que describen la reacción estructural basada en todos los casos considerados se presentan a continuación. La Figura 3 [4] presenta un histograma de los desplazamientos máximos experimentados por la estructura.

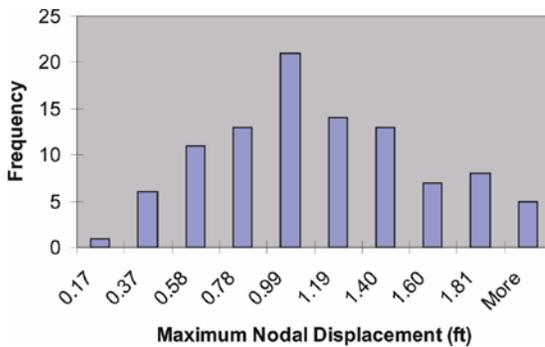


Figura 3
Histograma de los Desplazamientos Máximos en (pies)

El promedio de desplazamiento máximo (de la máxima nodal) fue de 12.2 pulgadas (esto es bastante grande debido a la utilización de un análisis elástico-lineal).

Calcularon el índice de vulnerabilidad estructural de la misma manera como se describió anteriormente, ver Ecuación (2):

$$I_{SV} = \alpha_1 \frac{\overline{\delta_{max}}}{\delta_{max}^*} + \alpha_2 \frac{\overline{D_a}}{D_a^*} =$$

$$0.8 \frac{12.2 \text{ in}}{10 \text{ in}} + 0.2 \frac{2386 \text{ ft}^2}{2924 \text{ ft}^2} = 1.14 \quad (2)$$

Donde:

- α_i = valores de peso
- Promedio de desplazamiento máximo nodal = 12.2 in
- Valor crítico de desplazamiento máximo nodal = 10 in $\approx L/50$
- Cantidad promedio de la plataforma afectada = 1381.2 ft^2
- Valor crítico de la cantidad de la plataforma afectada = 2320.58 ft^2 = área total del puente

Concluyeron que, basándose en los escenarios de ataques / eventos origen considerados, esta estructura no funciona bien. Con esa reacción estructural, se puede determinar el costo de los daños para que el juicio se defina mediante el daño/relación de costos.

La Figura 4 presenta un gráfico de dispersión de la dispersión máxima de las estructuras contra el costo total. Como se puede ver, hay una relación lineal cuando el desplazamiento se encuentra por debajo de un valor crítico y una asíntota que muestra los casos cuando el desplazamiento excede del valor crítico (sustitución total).

Similar al proceso descrito anteriormente en relación con la distribución del daño estructural, una distribución de los costos también se debe determinar. Matemáticamente, obtenemos $F[C(D)|T_i]$.

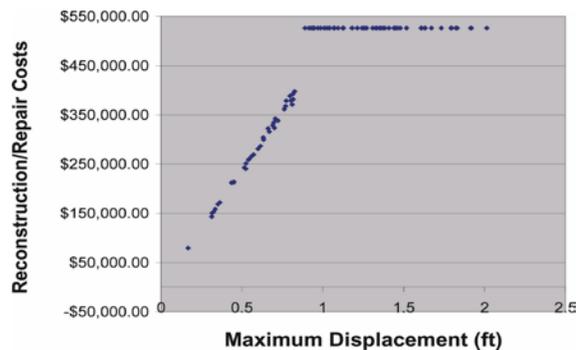


Figura 4
Gráfica de Dispersión de Costos vs. Desplazamiento

La Figura 5 muestra un histograma del costo total. El costo total promedio de la estructura fue de \$429,474.

Una vez más, por simplicidad sólo se consideraron los costos de reparación, sin embargo,

en un análisis real sería prudente considerar el costo de atrasos, las consecuencias asociadas con la pérdida de la vida, el impacto económico, su valor simbólico, importancia como una vía de emergencia, y la inclusión en la Red de Carreteras Estratégico.

Cuando se calcula el Índice de Criticidad debido a consecuencias, sólo se consideraron los costos de reparación.

La Tabla 1 muestra una serie de promedios hipotéticos de costos de reparación de puentes.

Basado en las tablas anteriores, se demuestra de forma explícita el cálculo del Índice de Criticidad debido a consecuencias en este caso de estudio, aunque los costos son fabricados exclusivamente para el uso de un ejemplo. Tomando nota de que la suma de los costos promedios son \$8, 914, 114 dólares y el costo de reparación promedio de este puente es de \$429,474 llegamos al siguiente cálculo, ver Ecuación (3).

$$I_{CC}^{(m)} = \sum_{i=1}^n \beta_i \frac{E [C_i^{(m)}]}{\sum_{k=1}^j E [C_i^{(k)}]}$$

$$= (1.0) * \frac{\text{promedio de los costos de la estructura considerada}}{\text{total del promedio de los costos}}$$

$$= \frac{\$429,474}{\$8,914,114} = 0.048 \quad (3)$$

Los índices de criticidad debido a consecuencias para cada puente se calculan en la Tabla 1 y luego los puentes se clasifican de acuerdo al I_{CC} (el puente considerado es el primero de la tabla: Puente # 1). La tabla muestra que, mientras que el Índice de Vulnerabilidad Estructural es alta Puente # 1 indica que la estructura no responde adecuadamente, al examinar las consecuencias del fracaso, el puente tiene el octavo rango mayor I_{CC} y por lo tanto tiene consecuencias "menos severo" en relación con otros puentes.

Cabe señalar que la clasificación de prioridad producido por la metodología e ilustrado en esta revisión difiere de clasificaciones que pueden ser producidos por otros peligros.

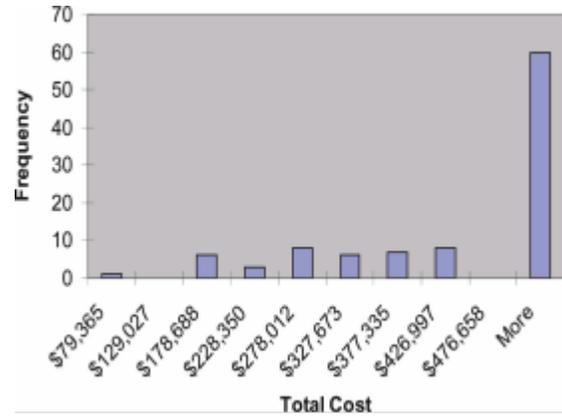


Figura 5
Histograma del Costo Total

Tabla 1
Ejemplos de Costos, Índices de Criticidad debido a Consecuencias, y la Clasificación para el Puente Hipotético

| Bridge | Average replacement cost | Criticality index | Rank |
|--------|--------------------------|-------------------|------|
| 1 | \$429,474 | 0.048 | 8 |
| 2 | \$526,896 | 0.059 | 5 |
| 3 | \$125,635 | 0.014 | 14 |
| 4 | \$345,685 | 0.039 | 9 |
| 5 | \$1,225,685 | 0.137 | 2 |
| 6 | \$895,635 | 0.100 | 4 |
| 7 | \$465,689 | 0.052 | 6 |
| 8 | \$265,761 | 0.030 | 11 |
| 9 | \$2,468,634 | 0.280 | 1 |
| 10 | \$165,798 | 0.019 | 12 |
| 11 | \$914,657 | 0.103 | 3 |
| 12 | \$123,689 | 0.014 | 15 |
| 13 | \$321,158 | 0.036 | 10 |
| 14 | \$462,976 | 0.052 | 7 |
| 15 | \$146,743 | 0.016 | 13 |

METODOLOGÍA DE PROYECTO

El objetivo de la metodología es presentar una no preceptiva, pero consistente, y adaptable que se pueda utilizar para diferenciar racionalmente entre esas zonas dentro de una red de transporte más serio en necesidad de mitigación y los que (debido a que los fondos son limitados) pueden ser ignorado o para los que puedan esperar por una mitigación.

Lo ideal sería buscar una medida de daño esperado como sigue.

- T_i = evento de que un ataque terrorista de tipo i suceda (binario)
- I = iniciación de evento aleatorio

- Ω = el conjunto de propiedades estructurales aleatorias
- D = daño a la estructura, N = número de tipos de ataques considerados (por ejemplo, atentado con explosivos, colisiones de vehículos y/o barcos)
- C = costo

Buscamos la distribución de los daños, $F[D(I,\Omega)|T_i]$, el costo esperado, $E[C(D)|T_i]$ y la medida del daño esperado, ver Ecuación 4.

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^N E[D(I,\Omega|T_i)P(T_i)] \quad (4)$$

El evento de origen aleatorio (I) describe el ataque a una estructura. Teniendo en cuenta que un ataque de tipo i ha ocurrido (por ejemplo una explosión con explosivos convencionales), que incluye la ubicación de la carga, el tipo de explosivo, la magnitud de la presión pico.

El uso de declaraciones condicionales no es irracional como el espacio de evento de interés, es necesariamente el espacio de eventos, en los que ocurre un ataque (es decir, si no nos interesa este espacio de eventos, entonces no sería necesario realizar la evaluación). Una información general de la metodología se presenta en la Figura 6.

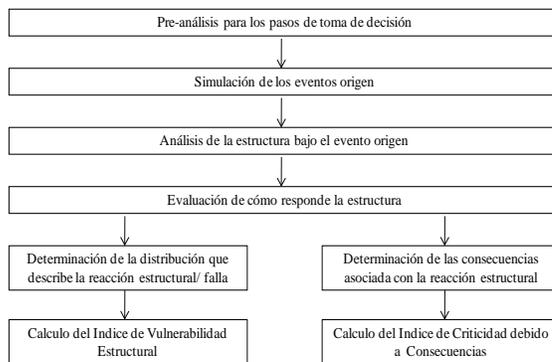


Figura 6
Descripción Metodológica

Los ataques terroristas son selectivos y pueden ser dirigidos estratégicamente a un "punto débil" de una estructura. La determinación de la probabilidad de una ocurrencia requiere la consideración de los

motivos de los terroristas, y puede ser modelado utilizando la teoría de juegos.

La Ecuación (4) no prueba la probabilidad de que un ataque ocurra porque $P(T_i)$ es desconocido, sólo los momentos posteriores y las declaraciones de probabilidad en esta metodología están condicionados en el caso de que ocurra un ataque. En particular, nos concentramos en la expectativa condicional $E[D(I,\Omega)|T_i]$, Refiérase a la Ecuación (4).

Pre-análisis para los pasos de toma de decisión

Ellos son parte integral de la evaluación y la consistencia en estos parámetros de decisión debe mantenerse durante toda la evaluación (es decir, que no debe ser alterada durante la evaluación y si la alteración es deseable, la evaluación debería iniciarse de nuevo desde la parte superior del diagrama de flujo).

- El usuario debe designar los eventos que se iniciaron. Deben considerarse y designarse distribuciones de probabilidad para describir la magnitud / severidad de los eventos origen. Ejemplos de sucesos origen pueden incluir (individualmente o en combinaciones): presiones debido a explosiones, colisiones de barcos y vehículos, y pérdida del área de sección transversal de la viga principal).
- El usuario debe designar un medio para medir el daño a la estructura (más tarde modelos estructurales serán utilizados para cuantificar esta medida de daños y producir una distribución de probabilidad que describa la reacción estructural) Ejemplos de mediciones de daños pueden incluir: deformaciones, fuerzas internas / tensiones, o pérdida en el promedio del tráfico vehicular diario.
- El usuario debe definir una relación entre la medida de daño (s) elegido y los costos debido a las consecuencias de esos daños. Un ejemplo de relaciones de costos puede ser costos de reparación y reconstrucción asociados con varias desviaciones experimentadas por una estructura como resultado de un ataque. Incluye consecuencias asociadas con la pérdida

de la vida, los costos económicos y posibles consecuencias estratégicas.

Índice de vulnerabilidad estructural

Se basa únicamente en el daño a una estructura individual. I_{SV} (cálculo del índice de vulnerabilidad estructural) puede ser interpretado como un indicador de la posibilidad de sufrir daños (vulnerabilidad), dado a un ataque terrorista. Es el promedio ponderado de las medidas normalizadas de los daños y puede escribirse; ver Ecuación (5).

$$I_{sv} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \frac{E[damage\ measure_i]}{Critical[damage\ measure_i]} \quad (5)$$

Donde α_i es determinado subjetivamente para reflejar la importancia relativa de medir un daño contra a otra medida de daño ($\sum \alpha_i = 1$) y n es el número de medida de daños a ser considerado.

I_{SV} toma cada medida de daño (por ejemplo, esfuerzo del elemento) y regula alguna medida de daño considerado como crítico.

Índice de criticidad debido a consecuencias

Las consecuencias de los daños ocasionados por el ataque también pueden ser determinadas. Es importante hacer la observación de que muchas medidas de consecuencias son de riesgo independiente. Es decir, la importancia de un puente dentro de una red es el mismo, sí ocurre o no ocurre un ataque terrorista.

Del mismo modo, la realización de este paso será un recurso valioso para la evaluación de otros peligros.

Ahora podemos interpretar la criticidad, como vulnerabilidad, como una medida del potencial de las consecuencias asociadas con el daño a una estructura. El índice de criticidad (I_{CC}) se calcula sobre la base de los costos totales (o componentes individuales de costos) de daño o fallo de un puente. El Índice de Criticidad se basa en los costos / consecuencias asociadas con otros puentes en relación con el puente que está siendo evaluado.

Debemos recordar que el propósito de esta metodología consiste en comparar y clasificar la

vulnerabilidad y la criticidad de los puentes. Dejando $C_i(m)$ = componente de costo i del puente m y β_i = un peso asociado a la importancia de la medida de reducción i ($\sum \beta_i = 1$), el Índice de Criticidad del puente m en el sistema de puentes p se define; ver Ecuación (6).

$$I_{CC}^{(m)} = \sum_{i=1}^n \beta_i \frac{E[C_i^{(m)}]}{\sum_{k=1}^p E[C_i^{(k)}]} \quad (6)$$

I_{CC} provee una medida de la pérdida relativa al dueño / sociedad dado un ataque. O, más directamente, indica lo importante que esta pérdida de la estructura en relación a otros puentes en la jurisdicción del dueño.

Análisis de Riesgos de Ataques Explosivos

El riesgo se define como el potencial de pérdida para un sistema debido a la probabilidad de un evento y sus consecuencias. En el "homeland security field", [5] define Riesgo (R) como el producto multi-dimensional de la probabilidad de ocurrencia (L) y las consecuencias dadas por la ocurrencia (C) y la medida de la vulnerabilidad (V), que evalúa la probabilidad del éxito de un ataque, dada su incidencia; ver Ecuación (7).

$$R = C * V * L \quad (7)$$

El proceso de evaluación de riesgos responde a tres preguntas básicas:

- ¿Qué podría ocurrir?
- ¿Qué tan probable es que ocurra?
- ¿Cuáles son las consecuencias si ocurre?

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

El conocimiento de los efectos de un ataque terrorista es beneficioso para los dueños de puentes, que tienen fondos limitados para las situaciones relacionadas con la seguridad. El dueño de un puente puede utilizar el método propuesto para analizar si un puente es crítico o varios puentes en su lista lo son. Al examinar la reacción estructural y

las consecuencias de un ataque contra diferentes tipos de puentes funcionales pueden arrojar luz sobre los puentes que son más vulnerables.

Tanto en el análisis del proceso metodológico del caso presentado en la revisión literaria y el del método propuesto en esta investigación se puede comentar que se llegara al mismo resultado siempre y cuando obtengamos un historial de datos de costos de reparación y mantenimiento a consecuencias de fallas estructurales de los puentes y teniendo en cuenta cierta lógica de las probabilidades de en donde podría ocurrir un ataque terrorista (por un momento tenemos que pensar como si fuéramos ellos “terroristas”). Por lo tanto, los resultados del método propuesto y el de caso presentado pueden ser útiles cuando los dueños de los puentes deben decidir entre la gestión de riesgos o estrategias de mitigación.

CONCLUSIÓN

Teniendo en cuenta la Vulnerabilidad Estructural e Índice de Criticidad debido a consecuencias, el dueño tiene un medio de comparar directamente las estructuras y conocer sus diferencias basadas tanto en la probabilidad de que la estructura fallará dado un ataque (I_{SV}) y las consecuencias relativas asociadas con el daño o la falla de una estructura (I_{CC}).

La metodología propuesta se basa en la conjetura de que las decisiones relativas a la mitigación de las estructuras a las amenazas terroristas deben basarse conjuntamente en la fiabilidad estructural y la pérdida esperada. Por ejemplo, utilizando el Índice de Vulnerabilidad Estructural, un dueño puede aprender que el puente A es estructuralmente más vulnerable que el puente B. Sin embargo, las pérdidas asociadas con el puente B pueden ser relativamente mayores que aquellas asociadas en el puente A.

Con el fin de reducir el esfuerzo computacional, el dueño de un puente puede elegir en llevar a cabo los análisis estructurales para una clase de puentes específicos (por ejemplo, pretensadas puentes de hormigón viga cajón de

longitud media), para derivar una distribución del daño (y tal vez un ajuste formal de distribución estadística de la datos) que puedan ser utilizados para evaluar todos los puentes de la misma clasificación.

REFERENCIAS

- [1] Bensi, M.T. from The Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley & Bhattacharya, B. from The Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur, “Probability-based vulnerability and criticality assessment of a highway bridge subjected to terrorist attack.” Retrieved Dec.14, 2012 from http://www.facweb.iitkgp.ernet.in/~baidurya/publications/i_casp10vulnerability.pdf.
- [2] Kinney, G.F., & Graham, K.J. from New York, Springer-Verlag New York, Inc. “Explosive Shocks in Air” (1985).
- [3] Baker, W.E. from Austin, TX, University of Texas Press, “Explosions in Air (1973)”
- [4] California_Department_of_Transportation. (January 2005), “Comparative Bridge Costs.” Retrieved Jan.15, 2013 from http://www.dot.ca.gov/hq/escestimates/COMP_BR_COST_S_2005.xls.
- [5] “Risk Analysis for Explosive Attacks on Highway Bridges.” Retrieved Dec.14, 2012 from <http://best.umd.edu/projects/Risk%20Analysis%20for%20Explosive%20Attacks%20on%20Highway%20Bridges.htm>.