

**Modern Protective Structures**, por Theodor Krauthammer, CRC Press, Boca Raton, Florida, febrero de 2008, 528 páginas, ISBN-10: 0824725263. Revisado por Luis E. Suárez, Catedrático, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez.

Este libro, que se puede traducir como Estructuras Protectoras Modernas, trata sobre el análisis y diseño de edificios y otras estructuras para proteger vidas y contenido ante cargas de alta magnitud y muy corta duración como las producidas por explosiones y proyectiles. El autor es una reconocida autoridad en esta área, actualmente profesor en la Universidad de Florida, en Gainesville, estado de la Florida, luego de estar por muchos años asociado con la Universidad Estatal de Pensilvania (Penn State). El tema del libro sólo era de interés de especialistas de las Fuerzas Armadas y muchas veces el material estaba considerado como clasificado. Debido a los cambios geopolíticos de los últimos años, la finalización de la guerra fría y en especial a causa de la proliferación del terrorismo a nivel mundial, ahora también el tema es del interés de los ingenieros estructurales. En particular, en los Estados Unidos de América, las instalaciones del gobierno federal y las de las Fuerzas Armadas deben diseñarse en forma tal de minimizar el daño frente a atentados terroristas.

El libro comienza con un capítulo introductorio donde se describe el tema general desde distintos puntos de vista. Hay una reseña histórica del problema del terrorismo mundial, seguida por una descripción de la filosofía de diseño de estructuras protectoras, incluyendo medidas no estructurales (maximización de la posible distancia entre la estructuras y la carga explosiva, etc.). Esto está seguido por una descripción de la evaluación del riesgo debido a esta particular amenaza. Continúa el capítulo con una presentación sobre la valoración de amenazas militares, comenzando por la doctrina soviética para ataque y defensa. Esta sección parece fuera de lugar y, al menos, está hoy en día caduca. Como si fuera poco, el capítulo continúa con una descripción de las armas de la ex-Unión Soviética, incluyendo misiles, cohetes, bombas aéreas y otras armas especiales, productos del trastorno mental colectivo que imperaba en la época de la guerra fría y que no estaba limitado a uno de los bandos. En la siguiente sección el autor vuelve al presente y a la realidad con una descripción de documentos (manuales y guías) producidos por organismos militares de los EE.UU. y por organizaciones civiles como la ASCE (Sociedad Americana de Ingenieros Civiles) sobre el diseño y evaluación de estructuras sometidas a explosiones. La última parte del capítulo está dedicada a describir las necesidades de investigación y desarrollo, tanto de política pública como temas tecnológicos sobre este tema. También el autor presenta recomendaciones sobre las medidas a seguir para implementar las metodologías de diseño protectorio.

El Capítulo 2 titulado “Dispositivos Explosivos y Explosiones” (“Explosive Devices and Explosions”) presenta una descripción de distintos tipos de proyectiles (granadas, bombas, cohetes y misiles). Se provee una breve descripción de las reacciones químicas exotérmicas por las cuales se convierte un combustible en calor. También se describe el proceso de combustión y el movimiento unidimensional del frente de choque que éste origina. El capítulo puede no ser fácil de entender por quienes (como este revisor) no tienen sus conocimientos de química y termodinámica al día, pero el autor lista varias referencias para ampliar los temas considerados.

El Capítulo 3 está dedicado a caracterizar diversos efectos de explosiones y proyectiles para posteriormente definir las cargas en las estructuras. El material comienza con una descripción de los dos métodos para comparar los efectos de distintos explosivos (“TNT equivalente” y “calor de reacción Q”). Se discute la forma típica del historial de presión-tiempo debido a una explosión al aire libre, así como el cálculo de la presión que actúa en la estructura. El capítulo continúa con una descripción del efecto de explosiones internas: inicialmente existe una “presión de choque” la que es seguida por una “presión de gas” debido a las reflexiones e interacción entre las ondas reflejadas. El capítulo continúa con una presentación sobre la penetración de proyectiles en hormigón, roca, suelos y acero. Se presentan fórmulas empíricas simples y monogramas para calcular la distancia de penetración y se proveen recomendaciones para minimizar esta distancia. El capítulo termina con una discusión sobre la propagación de ondas de esfuerzo, la formación de cráteres y la eyección de material para estructuras enterradas. Se describen en forma sucinta las ecuaciones de propagación de ondas en 3-D y en 1-D. El capítulo termina con un estudio de las cargas por la fragmentación de municiones.

El siguiente Capítulo 4, titulado “Cargas Convencionales y Nucleares sobre Estructuras” (“Conventional and Nuclear Loads on Structures”), tiene por objetivo enfocarse en definir con más detalles las cargas dinámicas en estructuras sometidas a explosiones. Por supuesto, cuando el autor se refiere a cargas convencionales (“conventional loads”) se refiere a las producidas por proyectiles, explosiones, etcétera, de origen no nuclear. La diferencia entre ambas radica en la dimensión relativa del frente de onda comparada con el tamaño de la estructura y la duración. El tema más interesante del capítulo es un procedimiento paso-a-paso para determinar las cargas de explosión para diseño incluido en la última sección.

El Capítulo 5 se titula “Comportamientos de Elementos Estructurales” (“Behaviors of Structural Elements”) y está enfocado en el diseño y comportamiento de elementos estructurales de hormigón armado, el material más usado en el diseño resistente a explosiones. El capítulo comienza con una descripción breve de seis publicaciones que tratan sobre el diseño estructural para este tipo de cargas. Es de hacer notar que este material se repite en otros capítulos, un hecho que no es único a través del libro. A continuación se presenta una muy corta descripción de las propiedades del acero y del hormigón: esta sección termina con un comentario sobre un tema que tal vez merecía más atención: los efectos de la velocidad de aplicación de la carga en los materiales. A continuación se presentan conceptos básicos del diseño de vigas de hormigón armado, la resistencia al corte y el diseño de miembros en tensión y compresión. Se discute en forma igualmente breve el diseño de cilindros y arcos, y de paredes de corte. La inclusión de este material no parece tener un objetivo claramente definido: aquellos lectores familiarizados con el diseño de estructuras de hormigón no van a encontrar nada nuevo aquí, y para los que no conocen del tema, es muy improbable que puedan sacar algún provecho de este súper resumen. Lo que resta del capítulo está dedicado al comportamiento membranar de losas y vigas sometidas a cargas que originan grandes deformaciones. Se discute cómo las fuerzas membranales de compresión pueden aumentar la capacidad última de losas y vigas. También se discute el efecto más conocido de las fuerzas membranales de tensión, las que crean una reserva de capacidad que puede ser de utilidad para limitar las fallas catastróficas y el colapso progresivo. Se hacen muchas referencias al texto de R. Park y W.L. Gamble (“Reinforced Concrete Slabs”, John Wiley, 2000), y por supuesto, a las propias investigaciones del autor.

El Capítulo 6 trata sobre el análisis dinámico de estructuras (“Dynamic Response and Analysis”). El autor presenta conceptos básicos de la dinámica de sistemas de un grado de libertad (ecuación de movimiento, frecuencia natural, respuesta a condiciones iniciales, integral de Duhamel, espectro de respuesta sísmico). También se presenta el método de integración numérica de Newmark-beta y se discute muy brevemente unos modelos inelásticos (bilineales, elasto-plásticos). Continúa el capítulo con sistemas de múltiples grados de libertad. Se describe el método de Rayleigh para calcular la frecuencia natural aproximada. El capítulo continúa con los sistemas continuos (vigas, en realidad) seguido por una muy breve discusión del modelo de Timoshenko para vigas que el autor argumenta es muy importante para cargas explosivas y de impacto. Hay una discusión igualmente breve de modelos de comportamiento de materiales basados en la teoría de la plasticidad. Se describe la validación de dos programas de computadora usando los resultados experimentales obtenidos de una viga sometida a una carga de impacto. Los programas seleccionados son ABAQUS/Explicit y un programa del autor para análisis no lineal dinámico de sistemas de un grado de libertad. El capítulo contiene en 52 páginas (de p. 237 a 289) lo que básicamente se presenta en los libros de texto dedicados sólo a la dinámica de estructuras. Por consiguiente, para los lectores familiarizados con el tema, este capítulo no aporta mucho, y para los que no tienen conocimientos sobre el tema, es altamente improbable que puedan aprenderlo del material aquí presentado.

El siguiente Capítulo 7 trata sobre el comportamiento de las conexiones estructurales y la implementación de las recomendaciones para el diseño de tales elementos. El capítulo se enfoca principalmente en conexiones de estructuras de hormigón armado. Se discuten los modelos propuestos por Park y Pauly (“strut-and-tie models”) en su libro clásico (“Reinforced Concrete Structures”, John Wiley, 1975) para representar conexiones viga-columna tipo “knee joint”. También hay una breve sección sobre las conexiones pre y post-Northridge para estructuras de acero. Por último se discuten diversos componentes no estructurales y dispositivos que se usan en estructuras resistentes a explosiones, aunque éstos parecen ser más propios de refugios militares que para edificios civiles. Por ejemplo, se presentan las puertas especiales para resistir ondas expansivas y válvulas que se cierran ante una onda de choque. Por último, se discuten los conductos que se usan para proveer de energía eléctrica, agua, gas, y otros servicios a una instalación resistente a explosiones.

El Capítulo 8 (“Pressure-Impulse Diagrams and Their Applications”) está enfocado en los diagramas de presión-impulso (P-I) y sus aplicaciones. Estos diagramas son rigurosamente aplicables a sistemas de un grado de libertad y se obtienen suponiendo que la estructura se comporta en forma elástica o elástico-plásticamente. Los diagramas son una herramienta útil para obtener la combinación de la fuerza (o presión) y el impulso (el área debajo de la variación en el tiempo de la carga) que causará un determinado nivel de daño en la estructura para un máximo desplazamiento predefinido. Los diagramas P-I presentan en otro formato la misma información que los conocidos espectros de choque (también llamados espectros de respuesta). De hecho, el capítulo describe cómo obtener en forma analítica los diagramas P-I elásticos para cargas rectangulares y triangulares partiendo de los espectros de choque. Se describen además una técnica aproximada (el método del Balance de Energía) y procedimientos numéricos para definir los diagramas P-I. Éstos últimos son útiles para obtener los diagramas para componentes estructurales específicos (losas de hormigón, etc.) en donde un tipo particular de falla se define de manera más precisa. En lo que resta del capítulo el autor presenta dos modelos acoplados de un grado de libertad no lineales que el autor usó para evaluar la respuesta de una viga simple de hormigón armado y compararla con resultados experimentales disponibles. Uno de los modelos tiene en cuenta el

comportamiento dinámico (y el modo de falla) debido a la flexión y el otro hace lo mismo con el cortante directo. Por último se describe otra aplicación de los modelos anteriores, esta vez usando una losa de techo sujeta a cargas explosivas.

El Capítulo 9 (“Progressive Collapse”) está dedicado al estudio del Colapso Progresivo y es probable que sea el de mayor interés para la mayoría de los ingenieros estructurales. Por Colapso Progresivo se suele entender al fenómeno en el cual una falla inicial y localizada en una estructura debido a sobrecargas accidentales causadas por fuego, explosiones, impactos, o como consecuencia de un error humano, se extiende de elemento a elemento resultando finalmente en el colapso completo o de grandes partes de la estructura que no guardan proporción con relación a la causa original (definición del revisor). El autor comienza describiendo la falla en 1968 del edificio de apartamentos de 22 pisos conocido como Ronan Point en Londres que inició el interés en el tema y los estudios posteriores. El capítulo continúa con una descripción de dos documentos muy usados en los Estados Unidos para estudiar la susceptibilidad de una estructura a experimentar colapso progresivo y los requerimientos para el diseño de estructuras con el fin de evitar este fenómeno. Se trata de las guías del año 2005: “Unified Facilities Criteria” del Departamento de Defensa de los EE.UU. y las del 2003: “Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects” de la Administración de Servicios Generales (conocidas como GSA 2003, por sus siglas en inglés). En lo que resta del capítulo el autor se enfoca en pórticos de acero resistente a momentos. El autor propone usar métodos de análisis avanzados de pórticos que incluyen la estabilidad y plasticidad de estas estructuras junto con modelos de conexiones semi-rígidas y métodos de integración explícitos, para simular el colapso progresivo. Como ejemplo se presenta un edificio de 10 pisos con dos tipos de conexiones (de momento y de cortante). Se estudió el comportamiento dinámico del edificio luego de que se removieran algunas columnas del edificio (combinaciones de una a tres columnas cercanas a una esquina). El autor critica el método tradicionalmente usado para estudiar el colapso progresivo, en donde se recomienda eliminar una columna del edificio a la vez y colocarle una carga estática vertical igual a  $2*(Carga\_Muerta + 0.25*Carga\_Viva)$  y recomienda un análisis no lineal completo que tenga en cuenta la no-linealidad del material y geométrica.

El capítulo final titulado “A Comprehensive Protective Design Approach” (Un enfoque abarcador para el diseño protector) contiene un resumen del libro, comenzando con una lista y explicación de los distintos manuales y guías para el llamado “diseño protector”. Se discuten también medidas no estructurales como así también consideraciones arquitectónicas. Se presenta un resumen de los efectos de las cargas explosivas, el comportamiento estructural, y la selección de los sistemas y componentes estructurales para estructuras protectoras. El capítulo termina con una larga lista de recomendaciones generales; éstas incluyen una serie de temas en donde en opinión del autor se necesita más investigación, y áreas en donde se deben aunar los esfuerzos de organizaciones gubernamentales y académicas.

El principal mérito de este libro es presentar en un documento único diversos aspectos de la evaluación y diseño de estructuras que deben resistir explosiones causadas por actos terroristas o accidentes. Este tema es de mucha relevancia en países como los Medio Oriente, Europa y en los Estados Unidos que han sido afectados por este fenómeno global. El libro tiene, en la opinión personal de este revisor, algunas áreas débiles. Una de ellas es la repetición de algunos temas en varios capítulos y la inclusión de material como el diseño de estructuras de hormigón y dinámica estructural que por su condensación va a aportar poco a los lectores. Además el autor hace demasiadas referencias a sus propias investigaciones, una tendencia que no es inusual entre autores de libros técnicos que son investigadores muy activos. Evidentemente, el profesor Krauthammer es una autoridad mundial en el tema pero, de nuevo en la opinión de este servidor, un libro, aún aquellos que no son de texto, debe tener un propósito más didáctico y ser más autocontenido. Para aprender sobre un tema el lector se va a ver obligado a consultar las numerosas referencias citadas, muchas de las cuales son artículos técnicos que (como todos sabemos) tampoco se caracterizan por ser muy didácticos y completos. No obstante, como se mencionó antes, este es un libro sobre un tema de actualidad sobre el cual no hay casi material y por consiguiente puede ser de utilidad para los lectores que les interese o que necesiten considerar en el diseño o verificación estructural, las cargas de muy alta intensidad y gran poder destructivo que son, tristemente, productos de la locura humana y por lo tanto son, en teoría, evitables comparados con las generadas por desastres naturales.

