

ANÁLISIS DE EXPLOSIONES EN ESTRUCTURAS Y ESCENARIOS DE INTERÉS PÚBLICO MEDIANTE SIMULACIONES EN ORDENADOR

Analysis of Explosions on public interest structures and scenarios by computer simulations

César Augusto GONZÁLEZ MARÍN¹, César Augusto PÉREZ MUÑOZ¹

Resumen

En este documento buscamos mostrar los eventuales efectos en estructuras de interés público debidos a cargas dinámicas, específicamente cargas explosivas. Dichos resultados se apoyan en métodos de análisis por ordenador para la simulación de este tipo de eventos. Comenzamos con una descripción del proceso de ensamble de los entornos o escenarios. Hemos usado el caso específico de un puerto marítimo con estructuras tipo que pueden ser afectadas directa o indirectamente por una carga explosiva. Buscamos evaluar las posibles consecuencias tanto en las edificaciones como en las personas que las ocupan mediante indicadores objetivos como porcentaje de daño, presiones, tensiones en materiales, velocidades de fragmentos, entre otros.

Palabras clave: Explosión, simulación, riesgo, materiales.

Abstract

In this paper we show the possible effects on public interest structures due to dynamic loads, specifically explosive loads. These results are based on computer analysis methods for the simulation of such events. We start with a description of the assembly process of environments or scenarios. We have used the specific case of a harbor with structures that can be affected directly or indirectly by an explosive load. We try to evaluate the possible consequences, on buildings and also on people who uses them by objective indicators such as damage (%), pressures, material stress, fragments velocities, etc.

Key words: Explosion, simulation, risk, materials.

¹ Departamento de Física de la Materia Condensada, Laboratorio de Ensayos Industriales (LEICAL)

1. Introducción

Evaluación del riesgo:

El término riesgo lo percibimos a priori como concepto subjetivo y dependiente de procesos más intuitivos que racionales. No es así, y un Estado, o un conjunto de una sociedad necesitan cuantificar ese riesgo de manera tal que se puedan tomar decisiones efectivas para minimizarlo. Dentro de esta intención gubernamental se puede enmarcar este proyecto que se viene desarrollando desde la UVa. en el departamento de Física de la Materia Condensada, Cristalografía y Mineralogía.

El primer ejercicio no intuitivo de evaluación del riesgo ligado a estructuras se ha desarrollado para eventos naturales como deslizamientos, inundaciones y terremotos, pero de manera más reciente, y por necesidades evidentes, se ha extendido este concepto a las explosiones (accidentales o premeditadas). Nuestro trabajo se centra en ésta última línea y trata de contribuir a la clarificación del evento explosivo y sobre todo busca responder a la pregunta: ¿Qué le ocurre a ciertas estructuras y a los usuarios de las mismas cuando una explosión dada ocurre en dicho entorno?

Este documento trata de resumir en unas cuantas imágenes el proceso que se lleva a cabo para obtener respuestas, usando herramientas informáticas. Así que de manera cronológica y partiendo de lo particular a lo general mostraremos algunos casos en los que actualmente venimos investigando.

Simulaciones en ordenador:

Con el aumento de la capacidad de cálculo y proceso de los nuevos ordenadores se ha ido abriendo un gran campo de trabajo en múltiples ramas de la ciencia y la ingeniería. La obtención de resultados confiables y próximos a la realidad por medio de simulaciones ha permitido avances importantes en dichos campos, disminución de tiempo y costos al reducir los ensayos sobre materiales o elementos concretos.

En nuestra investigación recurrimos al método de los elementos finitos (FEM) utilizando herramientas informáticas como *Ansys/Autodyn*. Pero también nos apoyamos en otro método más nuevo que contempla la aparición de grandes no linealidades en los materiales, este fenómeno es común en el estudio de fallos de materiales ocasionados por

una carga explosiva. Este segundo método es conocido como *Applied Element Method* (AEM).

1. Desarrollo secuencial

- a. Figuras básicas:** Mediante programas de dibujo asistido por ordenador como *Auto Cad* y *ProEngineer* comenzamos la generación de estructuras simples en forma de paralelepípedos, sólidos de revolución y elementos 3D que luego se exportarán a los programas de simulación para dar comienzo al análisis de efectos de la explosión en dichos elementos. Partir de estos elementos básicos nos permite, además de comprender el fenómeno, hacer calibraciones en los métodos utilizados, buscar la optimización del tamaño y forma de la malla y hacer una estimación del margen de error implícito en el método.
- b. Estructuras reales simplificadas:** A medida que se avanza, aumenta el grado de complejidad de las estructuras analizadas. En esta etapa las estructuras ya tienen una configuración similar a las estructuras reales existentes aunque están desprovistas de elementos que nuestro estudio no contempla y que inducirían ruido y ralentizarían el proceso de simulación.
- c. Subescenarios:** En un tratamiento de aproximaciones sucesivas se procede a la combinación de diferentes estructuras teniendo en cuenta unas dimensiones y una disposición espacial coherente con casos reales. La magnitud y complejidad del entorno evaluado puede hacer necesaria la subdivisión en subescenarios, de manera que la composición de subescenarios genera el escenario real.
- d. Escenarios:** Según el grado de complejidad del entorno analizado, un escenario puede estar constituido por uno o varios subescenarios.

En síntesis, nuestra estrategia de trabajo consiste en partir del estudio de figuras y elementos con geometrías básicas en primera instancia. Estos elementos conformarán partes que luego serán usadas y acopladas para la generación de cada escenario requerido.

Dentro de los escenarios propuestos inicialmente se encuentran las estructuras de un puerto marítimo, una estación de metro, estructuras de un aeropuerto como el de Madrid, edificios administrativos, entre otros.

2. Escenarios reales

Uno de estos escenarios reales en los que estamos investigando es un puerto marítimo con características y dimensiones acordes con los puertos existentes. Como referencia se ha acudido a los puertos de Gandía, Valencia y Barcelona.



Figura 1. Escenario Puerto Marítimo

La figura 1 es una visión panorámica de un puerto marítimo, en ella se resalta el subescenario iv (graneles sólidos) el cual a su vez está conformado por otros elementos. La magnitud de un escenario como éste hace necesaria esta subdivisión para que sea practicable el estudio posterior en los programas de simulación por elementos finitos o por otros métodos de análisis dinámico.

3. Primeras pruebas: calibración de modelos

Parte importante del tiempo en la primera fase del proyecto ha sido dedicado a documentación, calibración y validación de los modelos a utilizar, definición de tamaños óptimos de mallas según la geometría de la estructura y los parámetros propios del explosivo y el entorno que afectaría.

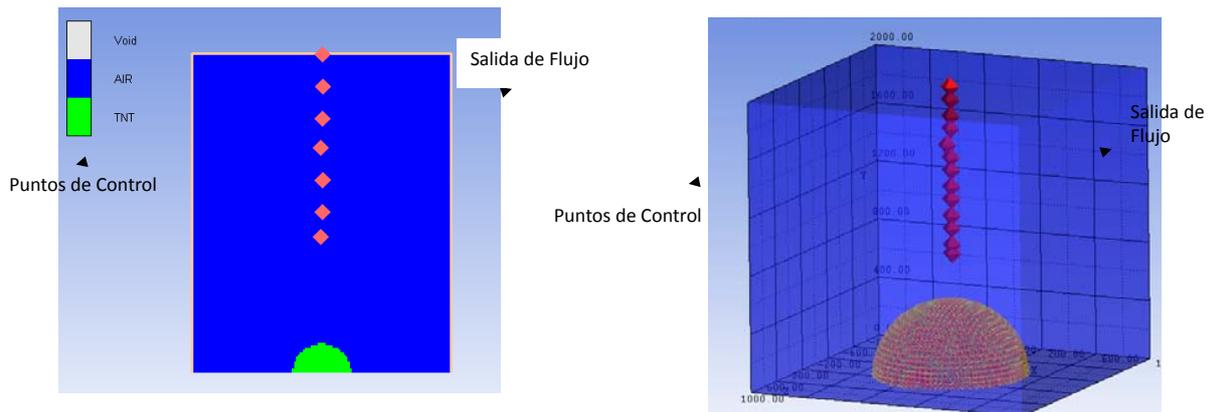


Figura 2. Pruebas con explosivos en entornos sin estructuras. Modelos 2D y 3D

En la figura 2 se ha representado una explosión libre de una carga esférica de TNT. Puede apreciarse en esta figura una disposición de sensores o puntos de control para captar información del evento explosivo, en zonas previamente elegidas por su especial importancia.

Estos sensores suministran información de ciertas variables tales como velocidad, presión o temperatura a lo largo de un tiempo para un explosivo determinado.

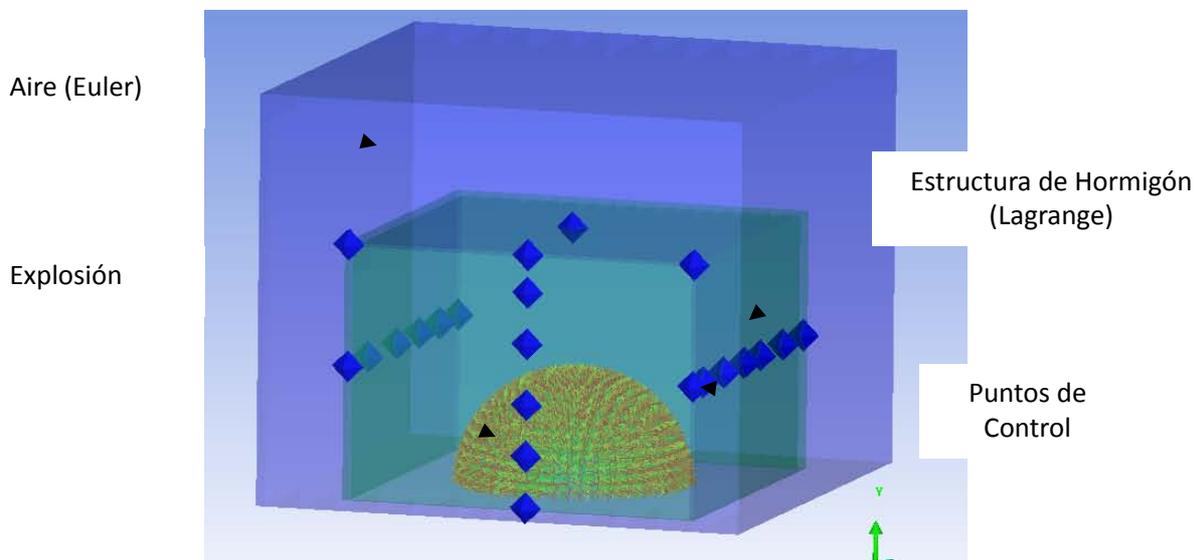


Figura 3. Definición del modelo partiendo de figuras simples

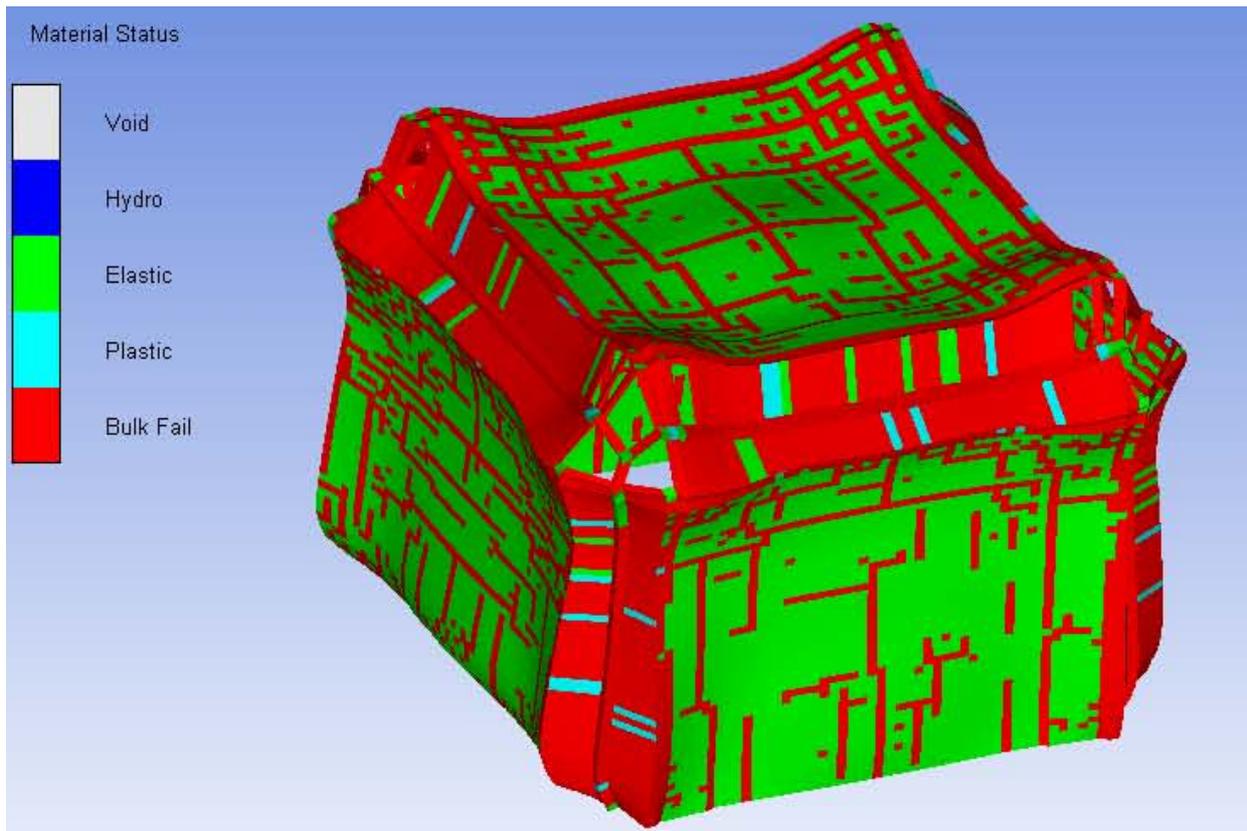


Figura 4. Presentación gráfica de efectos de explosión estructuras/figuras simples

La elaboración del entorno de la explosión (figura 3) implica conceptos tales como modelación, ecuaciones Euler-Lagrange, aplicación a modelos matemáticos y propiedades de materiales que intervienen en el proceso (Aire, Explosivo, Hormigón, etc.) mientras que los efectos de esta simulación (figura 4) implican el desarrollo de conceptos de dinámica de estructuras y resistencia de materiales.

4. Pruebas en estructuras reales desprovistas de elementos no estructurales

Las figuras 5 y 6 muestran el daño provocado por una carga de 200kg TNT en estructura de hormigón. Efecto a 100 milisegundos.

Las zonas en rojo representan el fallo del hormigón al superar su límite elástico. El fallo local debido a una carga explosiva puede desencadenar un fallo progresivo en otros elementos que no han estado expuestos directamente a dicha carga explosiva.

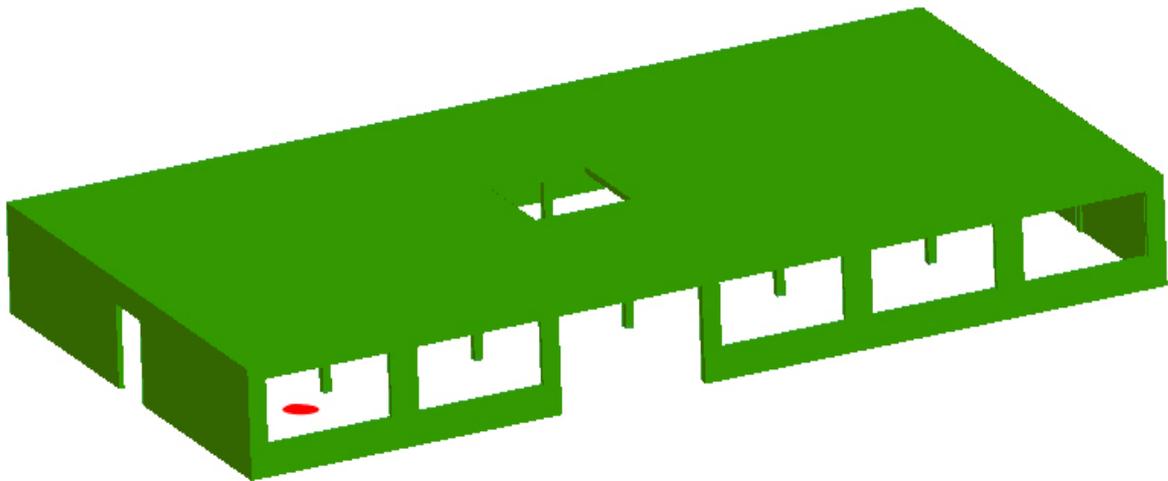


Figura 5. Estructuras reales simplificadas

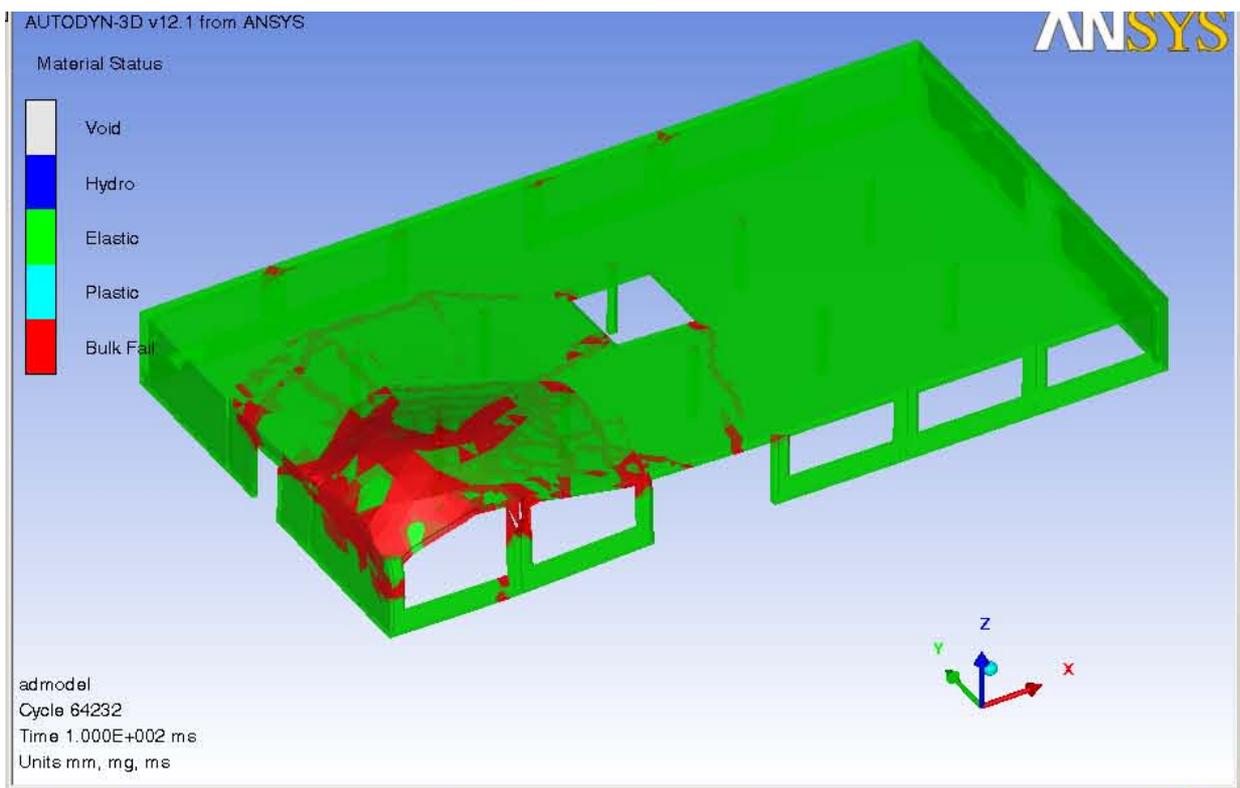


Figura 6. Efecto de explosión en estructuras

5. Conjunto de estructuras configurando un escenario

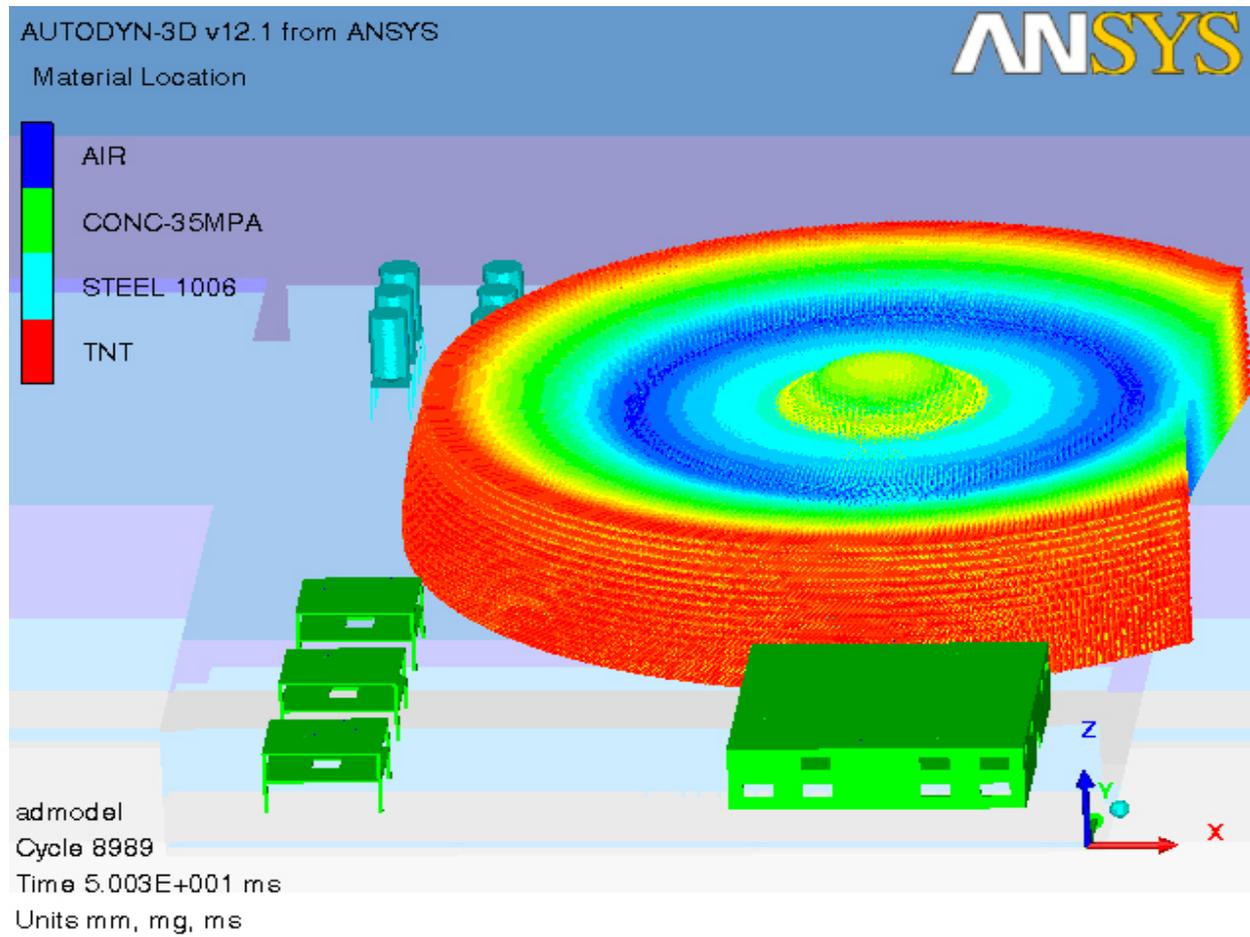


Figura 7. Explosión exterior en subescenario iv del Puerto Marítimo. Avance de onda de presión.

La figura 7 representa el avance de la onda explosiva. En tiempo real dicho avance es de pocos milisegundos, pero en tiempo de proceso de simulación, para escenarios de estas dimensiones puede ser incluso de semanas según las características del modelo y de los equipos informáticos utilizados.

6. Escenario real completo

Finalmente en la figura 8 aparecen todos los subescenarios concebidos para conformar el escenario completo del puerto marítimo.

Su creación parte de geometrías básicas con parámetros técnicos que rigen cada tipo de entornos (normativas, criterios estructurales y arquitectónicos, etc.). Su posterior simulación tiene en cuenta criterios determinantes como la definición del modelo a utilizar,

el tipo y tamaño de malla que represente cada estructura y la interacción entre el fluido y la estructura.

El cubo de aire que contendría solamente este subescenario del puerto marítimo que se resalta tiene medidas aproximadas en planta de 100 x 100 metros. Y una altura de 15 metros.

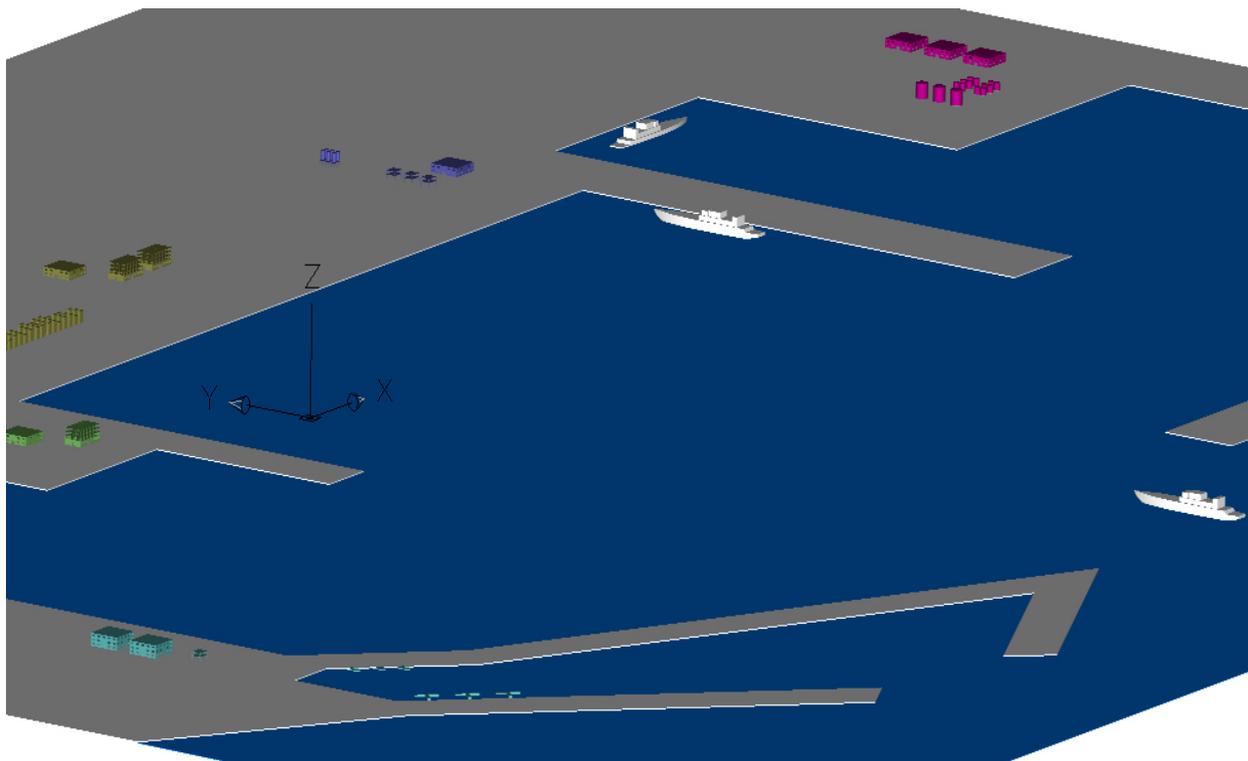


Figura 8. Escenario Puerto. Subescenarios conformados por diversas estructuras tipo

7. Otros escenarios

Actualmente estamos trabajando en otra serie de escenarios como lo son los edificios públicos (figura 9), una estación de metro (figura 10) y un parking en altura (figura 11). En las figuras citadas mostramos algunos resultados ya obtenidos.

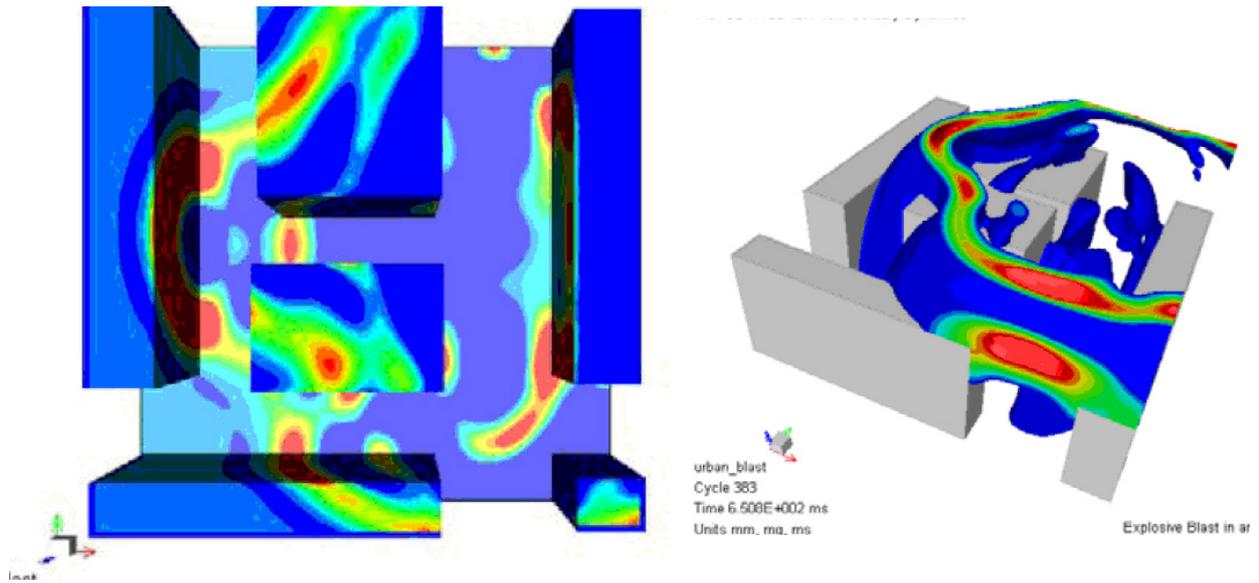


Figura 9. Zona Edificios Públicos

Por medio de las simulaciones se obtiene información relevante como presión, temperatura, velocidad de partículas desprendidas, deformación, etc. Además se obtienen otros parámetros que permiten evaluar los efectos sobre estructuras y personas tales como porcentaje de daño, límites elásticos y plásticos, tensiones en los materiales, mortalidad y morbilidad.

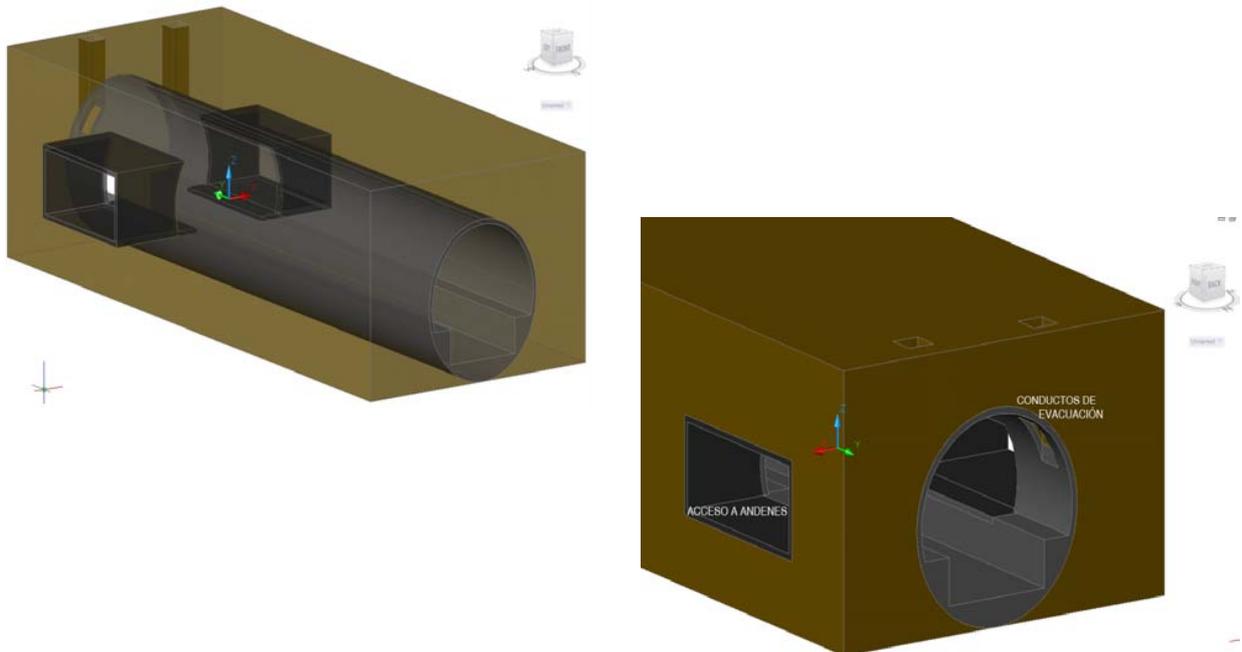


Figura 10. Estación subterránea de metro

En éste tipo de escenarios confinados se prevén sobrepresiones importantes debidas al efecto de superposición de ondas. La incidencia en la estructura puede ser importante así como su efecto sobre personas que ocupen este entorno en el momento de la explosión.

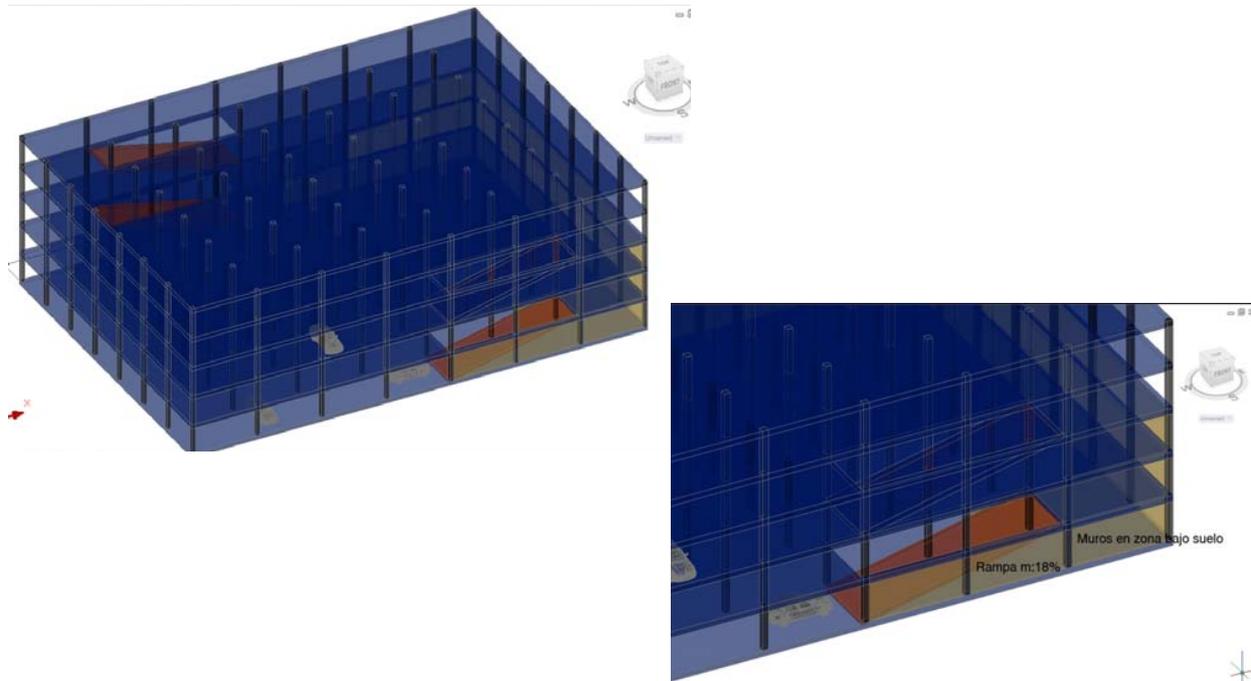


Figura 11. Parking en altura

En este otro caso, escenario abierto, no se prevén importantes efectos por sobrepresiones debidas a superposición de ondas. Pero el radio de influencia de partículas liberadas es mayor.

8. Conclusiones

Las posibilidades en cuanto ubicación y características del explosivo que se pueden dar en escenarios como el Metro, el puerto marítimo, el aeropuerto, o cualquier otro escenario que consideremos son tan amplias que el criterio con que las definamos resulta determinante. Entre la información procedente de las empresas y entidades implicadas en este proyecto y el criterio de nuestro grupo de trabajo se trata de conseguir la disposición más aproximada a la realidad, pero también se pretende cubrir las situaciones más desfavorables para la estructura y quienes la ocupan. Estos estudios previos son necesarios para optimizar los recursos informáticos con que contamos, ganando tiempo de proceso y

filtrando posibles resultados innecesarios, ya que estamos hablando de una gran cantidad de información con la que se trabajará en el post-proceso.

Entre las variables relacionadas con la carga explosiva que buscamos acotar con estos criterios están:

- Tipo de explosivo: Elección de ciertos tipos de explosivo según su uso en España y la disponibilidad de ellos en las librerías de los programas usados, en nuestro caso usamos Anfo, TNT, Amonal, C4, Semtex, entre otros.
- Masa del explosivo: Normalmente en kilogramos, o referida a kilogramos de TNT (trinitrotolueno).
- Ubicación: tanto en relación con la estructura más próxima (interior, exterior, en recintos cerrados, abiertos), como la posible interacción con estructuras vecinas.
- Presentación del explosivo: Libre, confinado, diseñado para dirigir y concentrar su efecto en una dirección específica, etc.

Cuantificar los efectos de un fenómeno dinámico de gran complejidad como lo es un evento explosivo trae implícito un error. Los métodos utilizados requieren simplificar el problema estudiado para hacerlo viable así que el criterio para determinar las simplificaciones hechas determina en gran medida con qué precisión nos acercamos a una respuesta aceptable.

La investigación presentada constituye, de manera esquemática, el estado actual de nuestro trabajo. El proyecto global finaliza en Diciembre del 2012 y en este período que resta confiamos en avanzar nuevas ideas y desarrollos.

Bibliografía

- *Ansys autodyn user manual*, 2010.
- BANGASH, M. Y. H., *Shock, impact and explosion*, Heidelberg, Springer, 2009.
- BANGASH, M. Y. H. y BANGASH, T., *Explosion resistant buildings*, Heidelberg, Springer, 2006.
- GERE, J. M., *Timoshenko. Resistencia de materiales*, Madrid, Thomson, 2002.
- JIMÉNEZ MONTOYA, P., GARCÍA MESEGUER, Á. y MORÁN CABRÉ, F., *Hormigón armado*, Barcelona, Gustavo Gili, 2007.