

Que en punto a la cantidad de material explosivo utilizado y al lugar en que éste detonó, se tiene en cuenta el estudio de simulación computacional tridimensional que reprodujo virtualmente, en forma completa, la mecánica del suceso; estudio que se encomendó a los Dres. ingenieros Bibiana Luccioni, Daniel Ambrosini y Rodolfo Danesi, pertenecientes al Instituto de Estructuras "Ing. Arturo M. Guzmán" de la Universidad Nacional de Tucumán (cónfr. fs. 6112/6210 del legajo de instrucción suplementaria).

Con sustento en los planos del edificio, la información catastral, el informe de daños elaborado por la Asociación de Ingenieros Estructurales, los peritajes acerca de la mecánica de la explosión, las fotografías, los videos y demás información incorporada a la causa, se realizó una modelación de toda la cuadra de Pasteur al 600, con el objetivo de obtener la distribución de presiones ante distintas alternativas de ubicación y masa del explosivo, valorada bajo el denominador T.N.T., lográndose una primera aproximación acerca de la ubicación más probable del foco de la explosión y de la cantidad de explosivo utilizado.

Para ello, los profesionales antes señalados consideraron que el programa computacional "AUTODYN-3D", junto a los procesadores "Lagrange", "Euler", "Lagrange-Euler Arbitrario" y "Shell", acoplados al sistema informático, era el más adecuado para desarrollar la solución al problema planteado, en razón de su particular diseño para el análisis de los problemas de impacto y explosiones.

Debe destacarse que las mallas que reprodujeron los edificios ubicados en ambas veredas de la calle Pasteur se formaron con elementos tridimensionales de forma cúbica, de 8 nodos y de 50 cm de lado, lo cual conduce a modelos de 380.000 y 615.000 elementos, respectivamente, para las veredas de la A.M.I.A. y su opuesta; dicho programa también reprodujo los distintos comportamientos de los fluidos y gases comprometidos en la prueba.

Con el objeto de evaluar la cantidad de explosivo utilizado se consideraron

cargas de 300 y 400 Kgs. de T.N.T. y se analizaron, además, otras alternativas que permitieron descartar masas de explosivos fuera de esos rangos.

También en dicho estudio se analizaron distintas alternativas de ubicación del foco: sobre la vereda, a 2 m de la línea de edificación; sobre la línea de edificación; en el hall de entrada del edificio de Pasteur 633, a 1 m de la línea de edificación; en el sótano de dicho edificio; en el interior de la mutual, a 5 m de la línea de edificación; en el mencionado hall, a 1 m de la línea de edificación y a 1,25 m hacia la calle Tucumán y en dicho hall, a 1 m de la línea de edificación y a 1,25 m hacia la calle Viamonte.

Como alternativas adicionales se analizó la influencia que pudieron tener en el desarrollo del suceso el volquete colocado frente a la sede de la A.M.I.A., para lo cual se modeló uno que se ubicó en el lugar que indican las constancias del expediente y un eventual direccionamiento de la carga explosiva, a cuyo efecto se modeló un direccionamiento, mediante celdas rígidas, alrededor del foco de la explosión.

En todos los casos, se ubicaron en los modelos computacionales puntos de control en los que se grabaron todas las variables del problema; dichos puntos -139 en los edificios ubicados en la vereda de numeración impar y 143 en la de enfrente- se localizaron, a lo largo de Pasteur al 600, en los frentes de los edificios más relevantes, determinándose como las variables de mayor importancia la presión registrada en cada punto y el impulso generado por dicha presión, lo cual constituye una medida de la energía incidente.

En base a distintas pruebas empíricas desarrolladas por los investigadores estructuralistas, se determinaron los diferentes niveles de daños que producen en las estructuras las diversas presiones reflejadas, dependiendo ello de la intensidad de la onda incidente, del ángulo con el cual se intercepta la superficie y de la naturaleza de la superficie.

En cada una de las alternativas simuladas se registró la sobrepresión máxima y el impulso máximo reflejados en cada uno de los puntos de control y el consecuente daño producido en las estructuras.

Posteriormente se confeccionó un mapa de los daños resultantes en las distintas alternativas simuladas, para lo cual se tuvo en cuenta, además, el tipo de configuración estructural sobre la que incidió el impulso máximo, en el sentido de que si el impulso máximo reflejado fue suficiente para demoler la estructura portante del edificio en ciertos pisos, éste resultará demolido por arriba de ese nivel. Teniendo en cuenta ello, más los niveles de impulso máximo reflejados, se definieron los distintos niveles de daño; a saber: demolición total; demolición de paredes de mampostería y daño en estructuras de hormigón; fisura de paredes de mampostería; mayor parte de vidrios rotos, daño en elementos de cerramiento, cielorrasos, marquesinas, etc. y, finalmente, algunos vidrios sanos.

A partir del cotejo entre los niveles de daño surgidos de las distintas alternativas simuladas y los daños reales verificados en base a la información obtenida en la causa, los peritos arribaron a las siguientes conclusiones:

- 1) Que la ubicación más probable del foco de la explosión se estableció en la zona delimitada por la línea de edificación, una línea paralela a ella, desplazada un metro hacia el interior del hall de entrada al edificio de Pasteur 633, el eje de simetría de la puerta de entrada y una línea paralela a dicho eje, desplazada un metro con veinticinco centímetros hacia la calle Tucumán;
- 2) Que, independientemente del tipo de explosivo utilizado, la cantidad equivalente de T.N.T. está comprendida en el rango de 300 a 400 kgs.;

3) Que, si la cantidad de explosivo utilizado fue equivalente a 400 kgs de T.N.T., su ubicación más probable puede fijarse dentro del hall del edificio de Pasteur 633, a un metro de la línea de edificación; en cambio, si la cantidad de explosivo utilizado fue equivalente a 300 kgs de T.N.T., su ubicación más probable se establece sobre la línea de edificación. En caso de cantidades intermedias corresponderían ubicaciones intermedias;

4) Que deben descartarse todas las otras alternativas simuladas;

5) Que la presencia del volquete no tuvo ningún efecto sobre los daños causados en el edificio de Pasteur 633 y,

6) Que en caso de haberse direccionado la carga explosiva hacia el edificio de Pasteur 633, dicho direccionamiento no tuvo una eficiencia completa; conclusión supeditada al análisis computacional completo de la destrucción del edificio de la A.M.I.A.

También utilizando la misma herramienta computacional, los nombrados presentaron el estudio obrante a fs. 7296/7348 del legajo de instrucción suplementaria, referido a la simulación del colapso estructural del edificio de Pasteur 633, bajo cargas explosivas de magnitud y ubicación acordes a los límites más probables obtenidos en el estudio anterior.

La simulación del colapso abarcó el proceso que va desde la detonación de la carga explosiva, incluyendo la propagación de la onda de presión generada y su acción sobre la estructura, hasta su destrucción y derrumbe.

Para dicha simulación los expertos utilizaron un modelo computacional del edificio de Pasteur 633 completo, constituido por elementos de volumen que representaban la estructura de hormigón armado y las paredes de mampostería. La construcción de dicho modelo se realizó sobre la base de la reconstrucción de planos de arquitectura y estructura presentados en el primer

informe.

Con el objeto de simular los materiales que formaban las distintas partes del edificio se utilizaron modelos numéricos apropiados a cada material en particular, cuyas propiedades se obtuvieron de los informes del "Instituto de Cemento Portland" sobre ensayos realizados en probetas extraídas en el lugar luego del suceso. Se incluyó en los modelos, además, la capacidad de simular fenómenos típicos de la respuesta a la acción explosiva, como la pulverización o fractura de partes de la estructura indispensables para producir el colapso estructural. Los modelos utilizados fueron probados y calibrados con resultados experimentales obtenidos dentro de los proyectos de investigación del Instituto de Estructuras y por otros autores.

Asimismo, para poder simular la propagación de la onda de presión, se incluyó en el modelo el aire en el que estaba inmerso el edificio en cuestión, que se dividió también en elementos de volumen prismáticos.

El análisis comenzó con una modelación de la detonación y la propagación de la onda de presión dentro del explosivo y en las capas de aire circundante. Dicho análisis, explicaron los técnicos, debió hacerse con mucho detalle, por lo que se realizó en una etapa previa, simulando un explosivo esférico y luego sus resultados fueron llevados a la malla de aire en donde estaba inmerso el edificio, en coincidencia con la ubicación del explosivo. A partir de allí, se simuló la propagación de la onda de presión en el aire y su interacción con la estructura. Los peritos explicaron que esa interacción se produce cuando la onda de presión encuentra una superficie sólida que le impide el paso y se refleja en ella, viéndose modificada su propagación. A la vez, cuando esas ondas de presión inciden sobre partes de la estructura, la deforman o destruyen, según su intensidad y, en este último caso, se abren paso hacia otros ambientes; la estructura destruida comienza a derrumbarse y las partes comienzan a caer impactando unas con otras.

Para calibrar el procedimiento de análisis y los distintos modelos que intervinieron, así como la discretización empleada en las distintas partes componentes de la estructura, se realizaron previamente sucesivas pruebas sobre estructuras más sencillas, de complejidad creciente, correspondientes a partes del modelo final, ajustando con ello la herramienta a utilizar.

Finalmente, se analizó el edificio completo según distintas ubicaciones y magnitudes de la carga explosiva, dentro de los límites más probables determinados en el primer estudio, obteniéndose gráficos que permitieron ver en forma secuencial el proceso de colapso de la estructura en los distintos casos.

Dicho estudio demostró que el colapso del edificio se produjo por un mecanismo de tipo gravitatorio originado por la destrucción de la mayor parte de las columnas de la planta baja y de la losa que se ubicaba sobre el sótano del bloque delantero, las que, debido a su cercanía con el foco de la explosión, se destruyeron por el solo efecto de la presión; las más alejadas, en cambio, lo hicieron por el efecto de tracción que ejerció dicha losa al ser empujada hacia arriba. Así, al quedar sin sustento, los pisos superiores comenzaron a caer, traccionando la parte trasera hasta desvincularse de ella a lo largo de una línea inclinada hacia atrás en altura.

De igual modo, las paredes de la planta baja direccionaron el daño hacia arriba, provocando un aumento sensible de los valores de presión en los pisos superiores que, junto a la acción de los patios de luz ubicados en la parte media del edificio, impidieron una mayor afectación de la estructura en el bloque posterior, que se mantuvo en pie.

A juicio de los expertos estructuralistas, una comparación del estado final del edificio, según los distintos casos analizados, con las fotografías obtenidas luego de la explosión, permite concluir que la simulación llevada a cabo reprodujo el mecanismo de colapso del edificio, confirmando que éste se

originó por un explosivo de la magnitud y en las ubicaciones que se determinaron como más probables en el primer estudio. De dicho cotejo destacaron, en particular, la idéntica ubicación de los escombros, los que avanzaron en una línea inclinada hacia la calle Pasteur; el hecho de que en ambos casos hubiera losas de los pisos delanteros que quedaron colgando de la parte de la estructura que permaneció en pie; la existencia de losas apiladas, una encima de otra, luego del derrumbe y la gran similitud de los pórticos de la parte posterior que quedaron en pie.

En virtud de las conclusiones a las que arribaron, los peritos consideraron que los modelos que desarrollaron del proceso de propagación de la onda expansiva y del colapso de la estructura, completan satisfactoriamente la simulación computacional tridimensional de la mecánica del suceso.

En el debate los Dres. Luccioni, Ambrosini y Danesi, ratificaron los extremos reseñados precedentemente e ilustraron mediante imágenes tridimensionales las distintas etapas del proceso de simulación, graficando sus conclusiones; explicaron que si bien todos los cálculos poseen un cierto margen de error, en este caso era difícil admitirlo, tanto en los datos recabados o en el resultado de la simulación computacional, puesto que el análisis comparativo demostró una amplia concordancia entre los resultados simulados y la realidad documentada. Sin perjuicio de ello, admitió limitaciones en este tipo de estudio en el sentido de que es virtualmente imposible, con los recursos computacionales existentes, reproducir todos y cada uno de los detalles de los daños y del colapso.