

Actuación de emergencia de apeo y proceso de desmontaje controlado de la cubierta accidentada de la nave del CEPYC-CEDEX

Emergency shoring operation and controlled dismantling process of the damaged roof of the CEPYC-CEDEX building.

Miguel Ortega Cornejo^a, Alberto Brusa^b, Jesús Martín Suarez^c, Pedro Atanasio Utrilla^d, Jokin Ugarte González^e y Kevin Rincón Crespo^f

^a Máster Ingeniero de Caminos, Caminos y Puertos. TYLin. Director General. miguel.ortega@tylin.com

^b Ingeniero Civil. TYLin. Director de la División de Edificación y Obra Civil. alberto.brusa@tylin.com

^c Máster Ingeniero de Caminos, Caminos y Puertos. TYLin. Director de la División de Inspección, Mantenimiento y A.T.
jesus.martin@tylin.com

^d Máster Ingeniero de Caminos, Caminos y Puertos. TYLin. Jefe de proyectos senior. pedro.atanasio@tylin.com

^e Máster Ingeniero de Caminos, Caminos y Puertos. TYLin. Jefe de proyectos senior. jokin.ugarte@tylin.com

^f Máster Ingeniero de Caminos, Caminos y Puertos. TYLin. Ingeniero estructural. kevin.rincon@tylin.com

RESUMEN

En enero de 2021, una histórica nevada en Madrid ocasionó el colapso parcial de la cubierta de la Nave del Laboratorio de Experimentación Marítima del CEDEX. Construida en los años 80, tenía 115 m de longitud y 71 m de ancho, apoyándose principalmente en dos grandes cerchas sin soportes intermedios. Las dos cerchas fallaron, afectando también al resto de elementos de cubierta. Tras su estudio, se realizó un proyecto de aseguramiento y desmontaje controlado, para posteriormente llevarlo a cabo. Las fases incluyeron asegurar la estructura principal y equipos, retirar paneles y estructura de fachadas y cubierta; minimizando riesgos garantizaron la seguridad y empleando equipos especializados.

ABSTRACT

In January 2021, a historic snowfall in Madrid caused the partial collapse of the roof of the Maritime Experimentation Laboratory building at CEDEX. Built in the 1980s, it measured 115 meters in length and 71 meters in width, relying primarily on two large trusses without intermediate supports. Both trusses failed, also compromising the rest of the roof elements. Following an analysis, a securing and controlled dismantling project was developed and subsequently executed. The phases included securing the main structure and equipment, removing panels and beams from the façades and roof. Risks were minimized, safety was ensured, and specialized equipment was used throughout the process.

PALABRAS CLAVE: colapso, apeo, desmontaje, emergencia, cubierta, acero, hormigón.

KEYWORDS: collapse, shoring, dismantling, emergency, roof, steel, concrete.

1. Introducción

La Nave de Modelos del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) del Centro de

Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) se encuentra situada en la calle Antonio López 81, Madrid (Figura 1).

En la figura 2 se muestra el edificio en su totalidad, en él se distinguen tres zonas. La

construcción marcada como A es el “Edificio Original” construido alrededor de 1980, que alberga despachos y talleres, así como una cafetería y un salón de actos. El “Edificio Nuevo”, marcado con una B, se construyó alrededor de 2000, y alberga también despachos y talleres. Por último, se encuentra la “Nave de Modelos”, edificio en el que se produjo el colapso, marcado como C; éste se construyó aproximadamente en 1980, y alberga grandes instalaciones de ensayo, como modelos físicos a escala, y tanques y canales de oleaje y viento.



Figura 1. Localización del Centro de Estudios.



Figura 2. Cuerpos principales del Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC).

El día 9 de enero de 2021, durante una fuerte nevada, se produjo el colapso de la cubierta de la Nave de Modelos. La incidencia dejó la nave inutilizada, existiendo un potencial riesgo de derrumbe mayor, que podía afectar a los edificios aledaños y a los equipos de gran valor que se encontraban en su interior. Como resultado, las actividades en los tres complejos quedaron paralizadas.

2. Descripción de la estructura de la Nave de Modelos

Tras el incidente, y de manera urgente y coordinada con el CEPYC, se revisó la documentación original del proyecto y las actuaciones previas de ampliación y reparación. A partir de esa información, se obtuvo una definición precisa del conjunto de elementos que formaban el entramado resistente de la nave.

La nave estaba conformada a partir de una planta rectangular, con una longitud de unos 115 m, en dirección NO-SE, y algo más de 70 m de ancho, en dirección NE-SE (Figura 3).

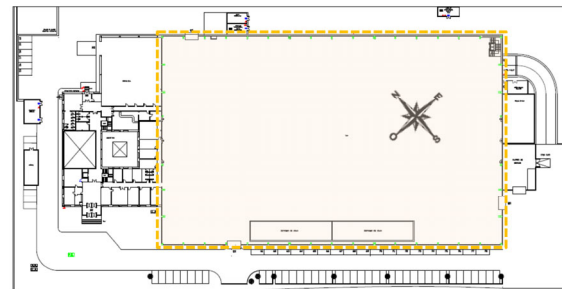


Figura 3. Planta general de la nave del CEPYC.

Los laterales de la Nave de Modelos fueron diseñados con una estructura de pilares de hormigón armado y un cerramiento de ladrillo.

Sobre esta estructura se apoyaba la cubierta de la nave. Debido a su gran tamaño, era necesario que la cubierta tuviese un elevado canto estructural, que daba lugar a que ésta tuviera dos niveles.

La estructura principal que sustentaba la cubierta estaba formada por tres familias de celosías tipo Warren metálicas, todas isostáticas, entre las que se distinguían:

- Las dos grandes cerchas centrales de 115 m de longitud, que soportaban toda la cubierta, siendo las celosías de mayor canto. Su cordón superior se encontraba justo por debajo de la cubierta, mientras que el inferior sustentaba un entramado de pasarelas (en rojo en las figuras 4 y 5).

- Una familia de cerchas transversales secundarias de cubierta, perpendiculares a las principales, y apoyadas en su cordón superior y los muros de fachada (en azul en las figuras 4 y 5).
- Una familia de correas en celosías apoyadas en las anteriores, más perfilaría para sustentar los paneles de cubierta.
- Unas familias de cerchas intermedias, también perpendiculares a las cerchas

principales apoyándose en su cordón inferior y en el muro de fachada, que conformaban las pasarelas de visualización (en verde en la figura 5).

- Existía otra perfilaría auxiliar en la dirección transversal, que se apoyaba aproximadamente cada metro entre las correas de cubierta longitudinales y que simplemente permitían el apoyo de los paneles de cubierta.

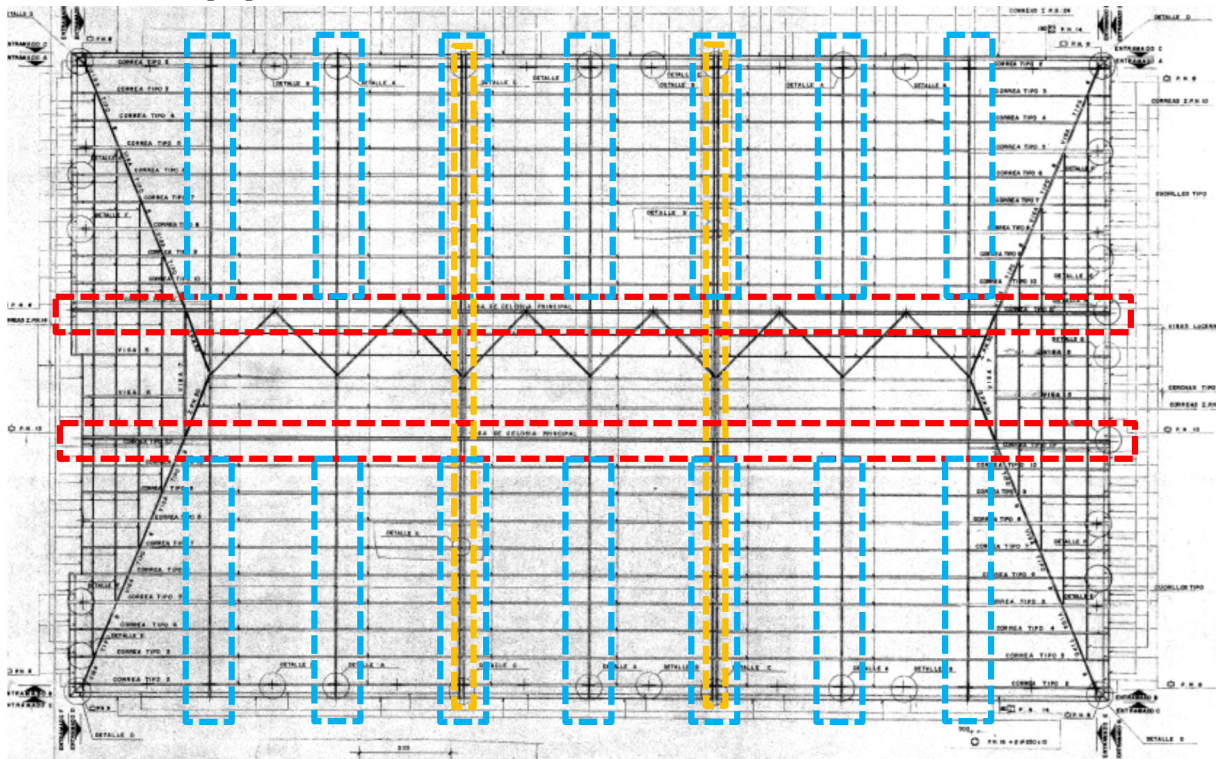


Figura 4. Planta de los elementos principales de cubierta., planos originales

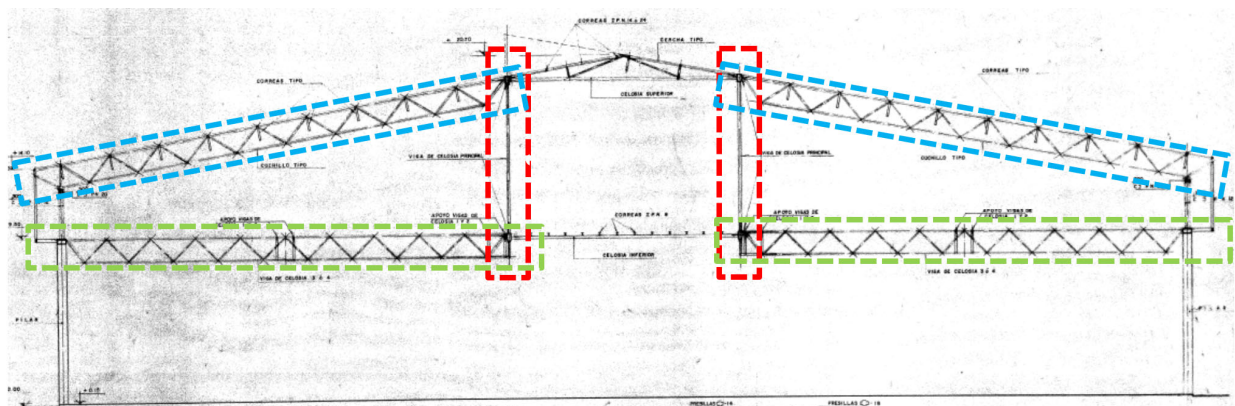


Figura 5. Sección transversal tipo de la Nave de Modelos.

La nave tenía dos juntas de dilatación que dividían la dimensión larga de la fachada y de la cubierta exterior en tres módulos (en naranja en la figura 4). Esta junta se encontraba en las fachadas largas y en las celosías secundarias de cubierta (duplicándose pilares y celosías a ambos lados de las juntas). Sin embargo, no se presentaba en las celosías principales, siendo ambas continuas de extremo a extremo de la nave.

Por debajo de la cubierta estaba el nivel principal de la nave, donde se ubicaban las piscinas, los canales y las principales instalaciones. Por debajo estaban el nivel del tanque principal y un nivel inferior destinado al aparcamiento, ubicado en la zona norte del edificio (Figura 6).

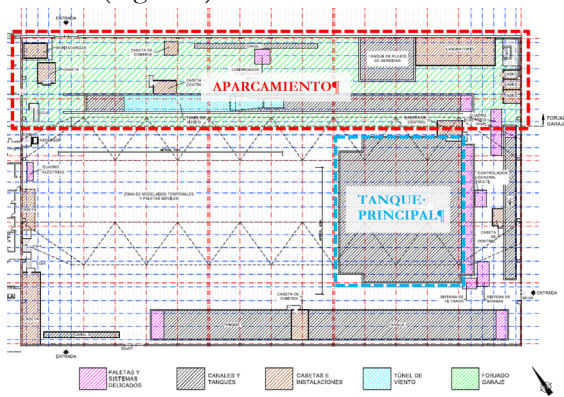


Figura 6. Planta de instalaciones en nivel principal y niveles inferiores.

3. Situación tras el colapso

Tras el accidente se realizó una inspección del estado de la estructura. Para ello, se llevaron a cabo varios vuelos con dron, que permitieron realizar todo el trabajo sin necesidad de acceder al interior de la nave. Se consiguió así realizar una minuciosa labor de identificación detallada de los daños ocurridos, tanto en los elementos estructurales como en los no estructurales.

En la figura 7 se muestra un esquema con los principales elementos afectados. Entre los daños más importantes destacan los siguientes:

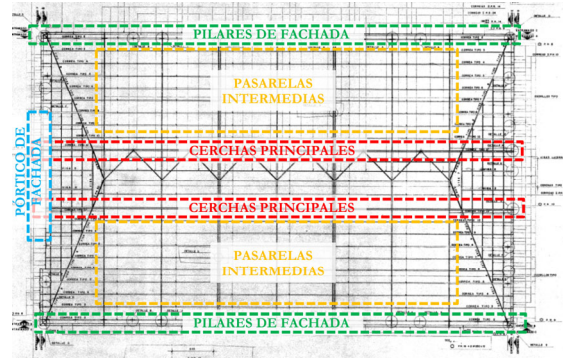


Figura 7. Planta de elementos estructurales dañados.

- La rotura de la primera diagonal de tracción de las cerchas principales en su extremo próximo a los edificios anexos, y la primera diagonal de tracción del extremo opuesto de una de las cerchas. Roturas que, aparentemente, desencadenaron la caída de dichos elementos, produciéndose el colapso de la cubierta (Figura 8).



Figura 8. Rotura de las diagonales de las celosías principales.

- Desplome del pórtico principal de hormigón de la fachada próxima a los edificios de oficinas, (Figura 9).



Figura 9. Desplome del pórtico principal de fachada.

- Desplome de los pilares metálicos perimetrales de cubierta, conocidos como pilares de fachada, produciéndose en algunos casos el colapso del pilar (Figura 10) o la rotura de su anclaje.



Figura 10. Desplome de pilares metálicos de fachada.

- Colapso generalizado de los elementos secundarios de cubierta, aislamiento y paneles, en la zona próxima a las oficinas.
- Rotura y/o deformación fuera de su plano de los cuchillos, correas y vigas de celosía que conforman la cubierta.
- Caída de las pasarelas del nivel intermedio, arrastradas por las celosías principales (Figura 11).



Figura 11. Caída de pasarelas de nivel intermedio.

Adicionalmente, se produjeron otros daños en elementos no estructurales, entre los que destacaban: el desplome de los puentes grúas y escaleras interiores y la situación inestable de los paneles de fachada.

Todos estos daños dejaron a la cubierta con un gran riesgo de colapso y desprendimiento de elementos dañados, en especial las celosías principales y secundarias de cubierta.

4. Análisis de la estructura de cubierta

De manera paralela a la revisión de daños, se realizó un análisis de la estructura de la nave con un doble enfoque: por un lado, para verificar la respuesta estructural de la cubierta en su estado original, previo al accidente, y por otro lado analizar la estabilidad de los principales elementos de la cubierta, de cara a la fase de desmontaje.

En relación con la resistencia de los principales elementos en condiciones previas al accidente se determinó que:

- Las celosías principales no estaban adecuadamente dimensionadas para la hipótesis de Estado Límite Último (ELU) de cargas permanentes más la sobrecarga de nieve (ver figura 12); sobrepasando gran parte de sus elementos los límites estructurales de la época del proyecto.

TABLA 4.1 SOBRECARGA DE NIEVE SOBRE SUPERFICIE HORIZONTAL	
Altitud topográfica h m	Sobrecarga de nieve s kg/m ²
0 a 200	40
201 a 400	50
401 a 600	60
601 a 800	80
800 a 1.000	100
1.001 a 1.200	120
> 1.200	$h/10$

Figura 12. Carga de nieve, extracto de la normativa MV101-1963.

- Los elementos comprimidos de las vigas secundarias también sobrepasaban los límites normativos en ELU para esta hipótesis.
- Igualmente se observó que existían otros elementos secundarios, como varios tipos de correas de cubierta, que sobrepasaban estos límites normativos.

Con estos resultados, se pudo interpretar que, una de las principales causas del accidente habría sido la consideración de una sobrecarga de nieve inferior a la contemplada en la normativa del momento.

Por otro lado, en relación con la revisión de la estabilidad de la cubierta durante su desmontaje, se realizó un análisis de sus elementos no dañados, contemplando únicamente las cargas permanentes, ver resumen de cargas en figuras 13 y 14.

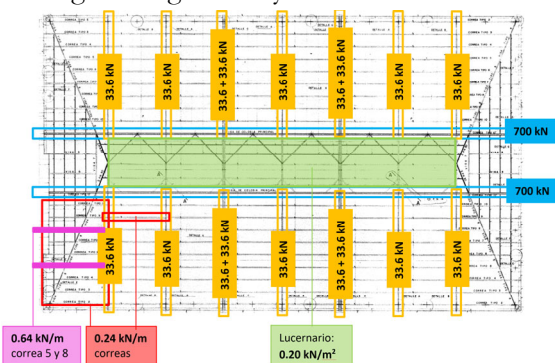


Figura 13. Resumen de cargas permanentes en vigas de nivel de cubierta.

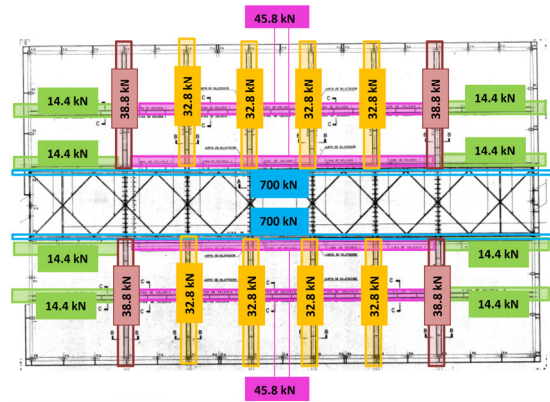


Figura 14. Resumen de cargas permanentes en vigas de nivel intermedio

Tras este análisis se concluyó que tanto las vigas secundarias como diferentes tipos de correas no presentaban problemas de estabilidad.

5. Aseguramiento de cubierta y operaciones previas

Antes de comenzar con las operaciones de desmontaje, fue necesario realizar una serie de actuaciones urgentes para poder asegurar los elementos de la cubierta en una situación inestable. Las actuaciones se estudiaron para que en las primeras fases se realizasen todos los trabajos desde fuera de la nave o mediante robots tripulados remotamente, sin poner en riesgo las vidas de los operarios; hasta que la cubierta estuviese asegurada.

Destacan los siguientes trabajos de aseguramiento.

5.1. Apeos de celosías principales

Se colocaron 6 torres de apeo, 3 por cercha, ubicadas equiespaciadas a lo largo de su eje. Cada torre estaba formada por 4 pilares metálicos dobles que se unían por encima de la cercha mediante unos montantes transversales, asegurando los nudos superiores de las celosías.



Figura 15. Vistas interior de la nave con los apeos de cerchas principales.

Para evitar acceder al interior de la nave durante su colocación, los apeos venían ya montados de taller, incluida la armadura de la cimentación. Posteriormente, en obra, se verticalizaban con ayuda de unas potentes grúas (Figura 16), y se introducían en el interior de la nave a través de unas aperturas practicadas en la cubierta.

El proceso terminaba con el hormigonado de las zapatas de cimentación, a través de unos ductos amarrados a los pilares de las torres (Figura 17). De esta manera todo el proceso se realizaba sin necesidad de que el personal accediera al interior.



Figura 16. Trabajos de verticalización de apeos celosías principales.



Figura 17. Vista exterior de las torres. En rojo los ductos para el hormigonado de cimentación.

5.2. Apuntalamiento de los pilares metálicos de las fachadas

El apeo propuesto para estos pilares metálicos de fachada dañados consistió en un pórtico metálico compuesto por un par de pilares y un montante horizontal superior. Éste sustentaba las celosías secundarias de cubierta desde su cordón superior.

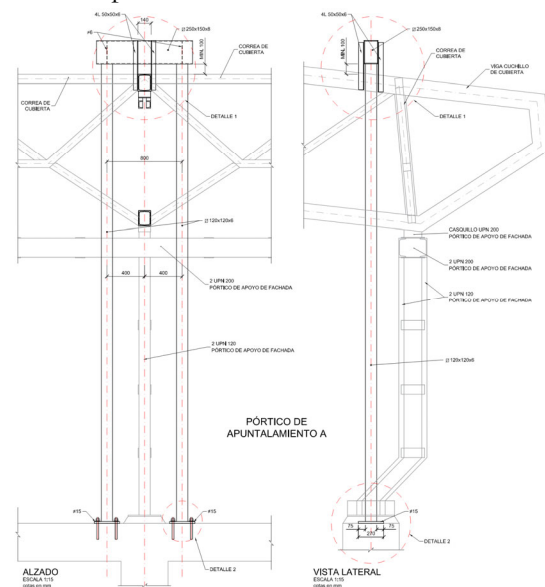


Figura 18. Croquis puntales para los pilares de las fachadas.

5.2. Otros trabajos de aseguramiento.

Una vez se habían estabilizado los elementos anteriores, se empezó a permitir puntualmente el acceso al interior de la nave, mediante la creación

de zonas seguras con andamios a medida que se avanzaba con los trabajos previos. Los trabajos que se realizaron en esta fase fueron:

- Apuntalamiento del forjado del depósito principal bajo el apoyo de las zapatas de los pórticos.
- Apuntalamiento de las pasarelas.
- Aseguramiento del extremo de las cerchas próximo a los edificios de oficinas.
- Apuntalamiento del pórtico de hormigón en la fachada de oficinas.
- Protección de las instalaciones del CEPYC en el interior de la nave.

6. Aseguramiento de cubierta y operaciones previas

Una vez finalizadas las operaciones de aseguramiento de las cerchas principales y los pilares de fachada, se procedió con el desmontaje controlado de la cubierta, de manera coordinada con las últimas labores de apuntalamiento. Los trabajos se realizaron en las primeras fases desde el exterior, de acuerdo con la siguiente secuencia:

- Retirada del peto frontal de la fachada y las placas de cubierta, panel a panel. El proceso comenzó en la fachada opuesta a las oficinas, al estar la cubierta en esta zona menos dañada.

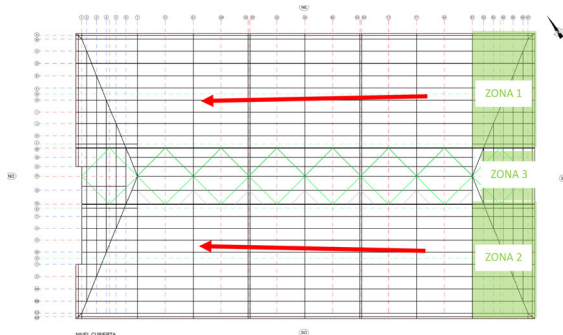


Figura 19. Avance en la retirada de cubierta.

- Tras el cerramiento, se comenzó con la retirada de la perfilería auxiliar de apoyo de los paneles de cubierta.



Figura 20. Retirada de cubierta, zona sureste.

- Continuándose con la retirada de las correas en celosía de cubierta.
- Retirada de las celosías secundarias de cubierta.



Figura 21. Retirada de celosías secundarias.

- A continuación, se llevó a cabo el desmontaje de los pilares y montantes metálicos de fachada, una vez se han retirado las celosías secundarias. Todo el proceso de desmontaje de celosías avanzó de manera coordinada, decalándose los trabajos en los distintos elementos en el tiempo, hasta que quedó un área despejada del nivel superior de cubierta (Figura 22).

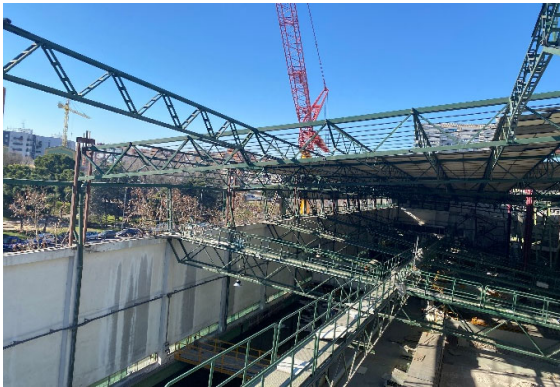


Figura 22. Zona despejada tras la retirada de los elementos.

- En ese momento comenzó el desmantelamiento de los entramados de pasarelas del nivel intermedio, que se simultaneó con los trabajos anteriores (Figura 23). En algunos casos, las pasarelas se encontraban en una situación inestable, siendo necesario el apeo de determinados tramos. Estas labores se realizaban ya con equipos menos pesados, avanzando por el interior de la nave (Figura 24).

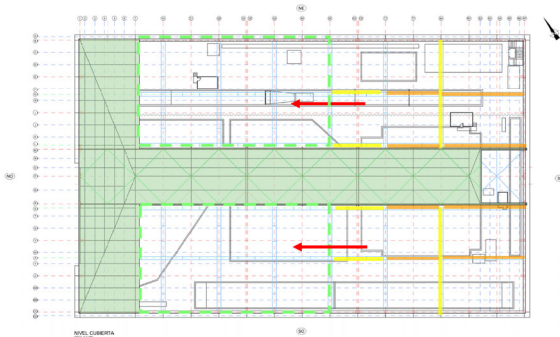


Figura 23. Avance del desmontaje de pasarelas.



Figura 24. Retirada de pasarelas desde el interior.

- Con una amplia zona de nave despejada, incluyendo las fachadas, se procedió al desmontaje de las celosías principales. El proceso que comenzó con el apeo de los cordones inferiores de las celosías para facilitar su desmontaje en tramos más pequeños (Figura 25).

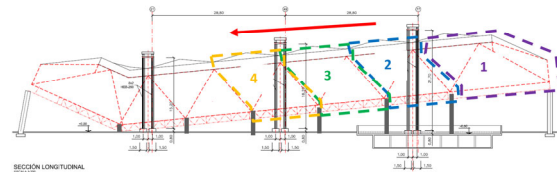


Figura 25. Apeos y esquema de retirada de celosías principales.

El siguiente paso fue la retirada de los paneles y lucernarios ubicados entre las cerchas principales (Figura 26). Posteriormente, se continuó con el desmantelamiento de las celosías por módulos (Figura 27).



Figura 26. Desmontaje del lucernario entre celosías principales.



Figura 27. Desmontaje celosías principales.

El proceso finalizó con la retirada de los módulos de las cerchas principales y la demolición del pórtico próximo a los edificios de oficinas (Figura 28), quedando así la nave despejada.



Figura 28. Zona despejada celosías principales.

6. Conclusiones

A lo largo del artículo, se ha resumido la actuación de emergencia para el aseguramiento y desmontaje de la cubierta de la Nave de Modelos del CEDEX. IDEAM (ahora TYLin), ha sido la responsable del desarrollo del proyecto, así como la dirección de obra de estos trabajos. El buen resultado de los trabajos ha sido posible gracias a la estrecha colaboración con el resto de responsables; destaca la importancia de la coordinación con CEPYC, los especialistas del CEDEX, Dragados y Usabiaga, cuya colaboración fue clave para garantizar las condiciones de seguridad durante todo el proceso.



Figura 29. Zona Nave despejada.