

Una nueva herramienta de AIDEPLA para calcular forjados de placa alveolar

Vicente Albero, Héctor Saura y Antonio Hospitaler. *Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón (ICITECH). Universitat Politècnica de València.*

Eduardo Vert y Alejandro López. *Asociación para la Investigación y Desarrollo de la Placa Alveolar (AIDEPLA) – Asociación Nacional de la Industria del Prefabricado de Hormigón (ANDECE).*

La Asociación para la Investigación y Desarrollo de la Placa Alveolar (AIDEPLA) presenta su nueva aplicación para el predimensionado y análisis mecánico de forjados de placa alveolar. Esta aplicación informática, disponible a través de la web de AIDEPLA, ha sido desarrollada en colaboración con la unidad docente de construcciones industriales del departamento de ingeniería de la construcción de la Universitat Politècnica de València (UPV). La aplicación ha sido desarrollada pensando en un perfil de usuario flexible. Permite una introducción al ámbito de las placas alveolares para usuarios no expertos en el tema y por otro lado resolver un completo y exhaustivo análisis de las diversas situaciones de proyecto para técnicos expertos en el cálculo de forjados de placa alveolar.

1. Antecedentes y objeto de la aplicación

Desde la introducción en 1966 en nuestro país de la placa alveolar por parte del industrial valenciano Eduardo Vert Sanz, fundador de la empresa valenciana HORVITEN, este elemento ha evolucionado significativamente hasta convertirse en una solución constructiva que recoge el bagaje de uno de los sistemas constructivos más analizados, los forjados, presentándose actualmente como uno de los de prefabricados de hormigón más industrializados y con un mayor componente tecnológico. En cuanto a AIDEPLA, asociación de producto nacida a finales del siglo pasado al amparo de ANDECE, tiene como objetivos fundamentales la promoción y contribución a la investigación y desarrollo de las placas alveolares de hormigón, así como el impulso a la información y formación en su campo de actividad. Entre las muchas acciones técnicas y promocionales realizadas hasta la fecha, como la publicación de manuales, recomendaciones o trabajos en el ámbito reglamentario, esta nueva aplicación se presenta para ofrecer una asistencia técnica completa a proyectistas, calculistas y otros profesionales del sector para el correcto dimensionado y cálculo de forjados de placa alveolar.

La aplicación ha sido desarrollada siguiendo los criterios normativos que exige la instrucción de hormigón estructural española EHE-08 [1] y la norma europea de placas alveolares EN 1168 [2]. Incluye también conceptos estructurales fundamentales provenientes del Código Técnico de la Edificación (CTE) [3]. La estructura de la aplicación se basa en el método de los Estados Límite, siguiendo el contexto normativo actual. Permite al calculista identificar las situaciones de proyecto críticas, así como analizarlas a través de diversos diagramas de esfuerzos. Esto permitirá al proyectista tomar

decisiones sobre la idoneidad de las placas alveolares a disponer en el forjado y sobre otros muchos aspectos como las condiciones de apoyo a las que están sometidas las placas. El objetivo final de la aplicación es servir de asistente para un óptimo y correcto diseño de forjados de placa alveolar, desde el punto de vista de la seguridad estructural.

No hay que dejar de indicar que la aplicación está pensada para ser utilizada por un usuario que posea un moderado conocimiento de los aspectos fundamentales del diseño estructural. Aunque el usuario pueda desconocer aspectos específicos del diseño de forjados de placa alveolar, deberá poseer conocimientos teóricos básicos en el ámbito del cálculo de estructuras.

2. Tipología y ventajas de utilización de las placas alveolares

La placa o losa alveolar, consiste en un elemento superficial plano de hormigón pretensado, con canto constante, aligerado mediante alveolos longitudinales cuyo uso principal está en la construcción de forjados. Existen gran variedad de cantos, de los cuales los más usuales están entre los 12 cm y 50 cm, aunque ya se fabrican losas de hasta 1 m de canto en países como Italia.

La losa alveolar tiene cada vez más un alto grado de aceptación por parte de proyectistas y empresas constructoras, pues reúne una serie de ventajas reseñables frente a otros sistemas de ejecución de forjados:

- Ofrecer unos elevados niveles de calidad y control debido a que se trabaja a cubierto, en un entorno controlado, con personal especializado y empleando técnicas y medios idóneos.
- Usar hormigones preparados con áridos seleccionados, curvas granulométricas controladas y especialmente constantes en el tiempo, de baja proporción agua-cemento, bien compactados y con elevadas características físico-mecánicas, ralentizando sensiblemente la velocidad de carbonatación, lo que asegura su du-

abilidad y permitiendo su utilización incluso en ambientes muy agresivos cuando se respetan los recubrimientos del acero señalados por la normativa vigente.

- Poder aplicar fácilmente la técnica del pretensado, mediante el uso de alambres y cordones de características certificadas, de muy alta resistencia y pequeñas secciones, que requieren menor espacio de alojamiento y posibilitan piezas más ligeras, más seguras frente a fisuración y con menor deformación.
- Reducir los tiempos de ejecución y la mano de obra necesaria al tratarse de un proceso sencillo, repetitivo y seguro, en el que se cubre mucha superficie con un solo elemento, maximizando el rendimiento por operario. Todo ello tiene una repercusión muy importante a la hora de reducir costes en obra.
- Ser un elemento de gran versatilidad, ya que nos ofrece diversas posibilidades de aplicación: forjados, cerramientos, muros de sótano, contención de tierras, depósitos, silos, piscinas, graderíos, pasarelas, andenes, etc.

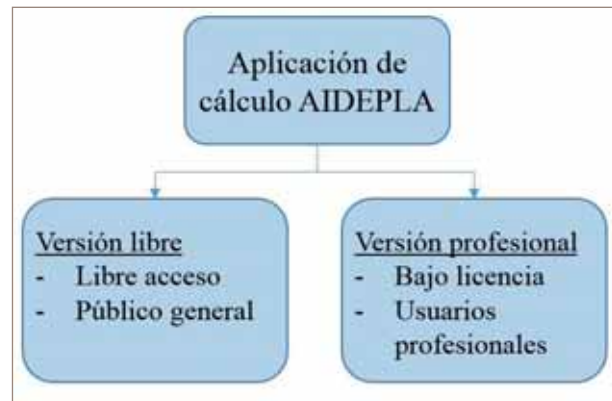
■ **Figura 1. Losa o placa alveolar.**



3. Estructura y alcance de la aplicación

La nueva aplicación que presenta AIDEPLA ha sido desarrollada en dos versiones diferentes, pensando en abarcar el mayor número de usuarios potenciales y ajustándose a las necesidades de cada uno. En primer lugar, se ha desarrollado una versión de libre acceso, pensada para calculistas y proyectistas no expertos en el cálculo de forjados de placa alveolar pretensada, e incluso estudiantes de ingenierías y arquitectura que decidan acometer sus proyectos o trabajos empleando esta solución constructiva. Para esta versión se ha preparado un video tutorial [4] en el que se describe el manejo de la aplicación y se realiza un ejemplo práctico de cálculo. Esta versión permite obtener un informe con los principales diagramas para ELU y ELS, así como seleccionar los detalles constructivos que resulten más interesantes para el forjado a diseñar, que vienen recogidos en otro trabajo anterior de AIDEPLA [5].

■ **Figura 2. Esquema de versiones de la aplicación.**



Para un análisis más detallado del forjado se ha desarrollado una segunda versión profesional, de acceso restringido y bajo licencia, que permite al calculista analizar con mucho mayor detalle el forjado. Entre otras cosas, podrá analizar la situación transitoria de ejecución que en ocasiones puede ser determinante. Del mismo modo que para la versión pública, para esta versión profesional se han desarrollado diversos videos tutoriales [6], [7] y [8] con explicaciones prácticas sobre diversos casos de cálculo.

La versión profesional también posee otras ventajas, como la obtención de la deformada del forjado y una propuesta de croquis de negativos. Como novedad, el programa facilita diagramas de flexión y cortante en situación accidental de incendio. Esta información resultará de gran utilidad para poder analizar la resistencia al fuego del forjado, crucial por ejemplo en aparcamientos de zonas comerciales en los que la exigencia normativa alcanza los 120 minutos de resistencia al fuego y donde la placa alveolar puede dar estupendos resultados.

En cuanto al alcance de la aplicación, ésta está diseñada para analizar alineaciones de hasta un máximo de 7 vanos, incluyendo voladizos. Permite la imposición de cargas tanto uniformemente distribuidas como puntuales, no obstante, únicamente está disponible una carga puntual por vano.

El cálculo se puede realizar tanto en continuidad como en isostático, muy habitual para forjados de placa alveolar. Dispone de la posibilidad de interponer sopandado en la etapa de construcción y tiene en cuenta las condiciones de exposición ambiental a la que está sometido el forjado y la alternancia de las sobrecargas.

En relación con la estructura de la aplicación, está dispuesta del siguiente modo:

- Secciones y cargas.
- Dimensiones y apoyos.
- Informe de resultados.

Cada una de estos apartados, que se detallan a continuación, coincide con cada una de las pantallas de navegación de la aplicación.

4. Secciones y cargas

La primera de las pantallas de la aplicación, a la que se accede directamente tras introducir los datos de usuario y contraseña, se denomina "Secciones y Cargas". Aquí el usuario podrá introducir los elementos que constituyen la sección del forjado: placa alveolar, capa de compresión, revestimientos constructivos, etc. así como indicar las cargas, tanto permanentes como variables, a las que se verá sometido el forjado.

En este apartado se puede observar una división vertical, a la izquierda se definen las cargas permanentes mientras que a la derecha se deben disponer las variables. Puede observarse que las cargas permanentes se pueden introducir automáticamente a la vez que el usuario selecciona los diversos elementos constructivos que forman el forjado. Los pesos asociados a cada elemento han sido obtenidos del catálogo de elementos constructivos del CTE [9] y pueden tomarse como valores de referencia, no obstante, el usuario podrá indicar valores más concretos si dispone de ellos.

Resulta interesante destacar que las cargas permanentes han sido denotadas bajo 3 indicadores diferentes: G1, G2 y G3. Esta

subdivisión responde a la estructura interna con la que la aplicación calcula los esfuerzos y se corresponde con las diferentes etapas constructivas a las que se ve sometido el forjado. G1, coincide con el peso propio de la placa alveolar. G2 será el peso propio del hormigón vertido *in situ* que materializará la capa de compresión y por último G3 puede identificarse con el resto de cargas permanentes asociadas a los diversos revestimientos constructivos.

En cuando al selector de cargas variables, cabe indicar que se han dispuesto todas las categorías de carga disponibles tanto en el CTE como en los Eurocódigos. Además, se ha facilitado una categoría de carga industrial, para la que el usuario podrá establecer el valor concreto de carga, así como el porcentaje de la misma que quiera considerar como carga permanente. A través de la categoría de carga quedarán establecidos los coeficientes de combinación de la carga variable para las diversas combinaciones que evaluará el programa. En cuanto a la carga puntual, se ha dispuesto la posibilidad de introducir dos valores diferentes con un selector asociado para cada uno que permite indicar si la carga puntual debe establecerse como permanente o como variable.

■ Figura 3. Pantalla "Secciones y Cargas".

The screenshot displays the 'Secciones y Cargas' application interface. At the top left is the AIDEPLA logo. Below it are three menu items: 'Secciones y Cargas', 'Dimensiones y Apoyos', and 'Resultados'. A 3D rendering of a slab and a 2D cross-section diagram are shown. Below these are several form fields for project information, including 'Vrs. Pública', 'OBRA', 'Planta', and 'Alineación'. There are also checkboxes for 'SOLADO/CUBIERTA', 'CAPA DE COMPRESIÓN', 'ALVEOPLACA', and 'REV INF'. The main part of the interface is a table for defining loads, split into 'Cargas Permanentes (G)' and 'Cargas Variables - Sobrecargas (Q)'. The table has columns for 'Categoría de elementos constructivos CTE', 'ID', 'Peso canto (kN/m2) (cm)', 'Categoría y Uso de la carga', 'ID', 'Unif. qk (kN/m2)', and 'Conc. Qk (kN)'. The table is partially filled with data for 'Placa Alveolar', 'Capa compresión', 'Cubierta', 'Solado', and 'Rev. Inferior'. A 'TOTAL' row is at the bottom of the table. At the bottom right of the table is a 'CONT.' button. At the bottom of the screen, there is a footer with the logos of 'UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA' and 'DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y DE PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL', along with contact information for the application creator.

Cargas Permanentes (G)				Cargas Variables - Sobrecargas (Q)			
Categoría de elementos constructivos CTE	ID	Peso canto (kN/m2) (cm)		Categoría y Uso de la carga	ID	Unif. qk (kN/m2)	Conc. Qk (kN)
Placa Alveolar	G1			Superficial	Q1		
Capa compresión	G2			Puntual 1 <input type="checkbox"/>	P1		
Cubierta				Puntual 2 <input type="checkbox"/>	P2		
Solado							
Rev. Inferior	G3						
Otras cargas Perm. (Incluso Tab y Falso techo)							
TOTAL							

En esta pantalla deben indicarse también datos generales del cálculo, como son: la obra, la planta y la alineación para la que se está realizando el análisis. Estos datos aparecerán en el informe final permitiendo una correcta organización y planificación conjunta de la totalidad de la obra.

5. Dimensiones y apoyos

En la segunda pantalla, denominada "Dimensiones y Apoyos", se seleccionará en primer lugar el número de vanos de la alineación que se pretende analizar. La aplicación facilita un croquis escalado para poder tener una noción rápida de lo que se está calculando. Este croquis se acota automáticamente a la vez que el usuario introduce las luces del forjado.

Podrá seleccionarse el modelo de cálculo a utilizar: En continuidad, que tiene en cuenta la alternancia de sobrecargas; el modelo isostático o el modelo 0.9-isostático útil en ciertas situaciones según [10].

Hay que tener en cuenta también que si se pretenden introducir voladizos en los extremos, el número de vanos introducidos debe incluirlos.

En este momento se puede introducir la disposición de las cargas puntuales, indicando el vano en el que se quiere disponer la carga puntual, la distancia relativa de su posición respecto al apoyo izquierdo y el factor de distribución por el que quedará pre-multiplicada la carga. Este factor de distribución permite tener en cuenta la contribución transversal de las placas alveolares adyacentes, gracias a la transmisión de cortante que permite la junta lateral de las placas. Este factor puede obtenerse del apartado 5.2.4 del Anejo 12 de la EHE-08. De no especificar otro factor, el programa toma como valor predeterminado un factor de redistribución de 0,3 (un factor de redistribución de 1 supondría que la carga puntual solo actúa sobre la placa afectada por la misma).

El croquis sirve de asistente para la introducción de las cargas puntuales, permitiendo visualizar el lugar exacto donde se está disponiendo la carga puntual.

■ Figura 4. Pantalla de "Dimensiones y Apoyos".

Secciones y Cargas Nº de vanos: 4

Dimensiones y Apoyos Tipo de cálculo: EN CONTINUIDAD

Resultados

Voladizos: [voladizo izq voladizo der] // Tipologías de apoyos: [Hor "in situ" Hor Prefab Muros fab/bloq'in situ Metálicos]

Luz (m)	Cargas puntuales			F. Distr	Apoyos
	Tipo	Dist (m)			
1	8.00			0.30	A APM08 Sobre perfil
2	9.00			0.30	B APM01 Sobre perfil
3	9.00			0.30	C APM01 Sobre perfil
4	9.00			0.30	D APM01 Sobre perfil
					E APM02 Sobre perfil

DURABILIDAD Ambiente: Protegido

SOPANDADO Sin sopandar

CGE: I

CEE: []

% Separación: [] %

Max. Redistribución admisible (0,15 - 0,30): 0,15

NOTA: Con el fin de evitar su desprendimiento, conviene armar el hormigón de remate, con el propio mallazo de reparto o si lo hubiera con la propia patilla de la armadura de negativo. PARA que la armadura a negativo resulte eficaz, deberá de soldarse al ala del perfil o colocar un conector que asegure la tracción prevista para dicha armadura. Posibilidad de contener el borde del forjado frente a acciones horizontales, mediante la colocación de un casquillo LPN a centro de cada placa.

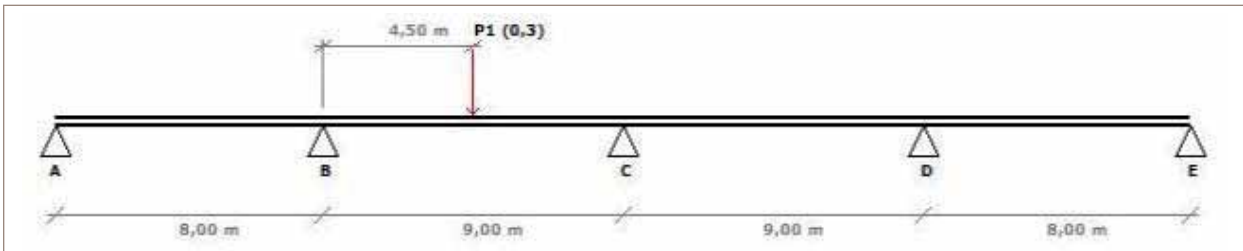
CALCULAR

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Aplicación creada por: U.D. Construcción y Arquitectura Industrial
Contacto: hsaura@cst.upv.es // vicente.albero@gmail.com

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN Y DE PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

■ Figura 5. Posición de cargas puntuales.



A continuación deben seleccionarse los correspondientes detalles de apoyo, de entre las 4 familias disponibles:

- Hormigón *in situ*.
- Hormigón prefabricado.
- Muros de fábrica/bloque/*in situ*.
- Metálicos.

Estos detalles constructivos, ofrecidos por AIDEPLA, quedarán incorporados al informe. Para la versión pública del programa solo se podrán seleccionar detalles recomendados por AIDEPLA en función del tipo de cálculo seleccionado, en continuidad o isostático. En la versión profesional la galería de detalles quedará completamente libre para que el proyectista seleccione el que más se ajusta a su proyecto, pudiendo realizar comentarios oportunos a cualquier modificación sobre los mismos. Es de comentar que dicha biblioteca se irá ampliando en función de que se puedan presentar nuevas iniciativas de solución de los apoyos.

Antes de realizar definitivamente el cálculo quedará indicar la clase general y específica de exposición a la que se verá sometida el forjado y la condición de sopandado del forjado. En cuanto al ambiente, por simplicidad se han dispuesto también tres propuestas rápidas de selección de ambiente: Protegido, intemperie y cubierta de depósito, que se corresponden con la clase general de exposición I, IIa y IIIa/IV respectivamente.

En cuanto a la condición de sopandado, lo habitual será mantener la opción por defecto "sin sopandar" ya que una de las venta-

jas de la placa alveolar es que se trata de un elemento autoportante que no requiere sopandado. No obstante, se ha dispuesto la opción de sopandar el forjado, con una o dos sopandas, que puede resultar útil para algunas condiciones concretas del forjado (ver video tutorial 3 sobre las posibilidades de la opción de sopandado [8]).

Antes de abordar el cálculo queda destacar que el programa realiza un análisis lineal con redistribución limitada. Puede observarse que el programa recomienda una redistribución limitada al 15%, ésta se adoptará siempre que sea posible.

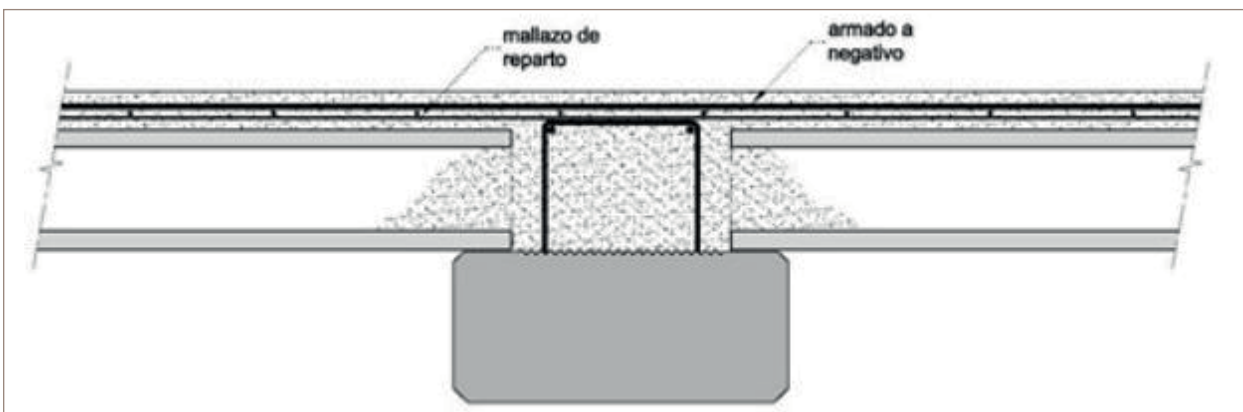
6. Informe de resultados

Una vez la aplicación realiza el cálculo de esfuerzos, se alcanza la última etapa de la aplicación donde se presenta el informe de resultados. Como en el resto del programa, se obtendrán informes diferentes si se está realizando uso de la versión pública o profesional del programa. La estructura del informe de resultados, en función de la versión empleada será la que se muestra en la Figura 7.

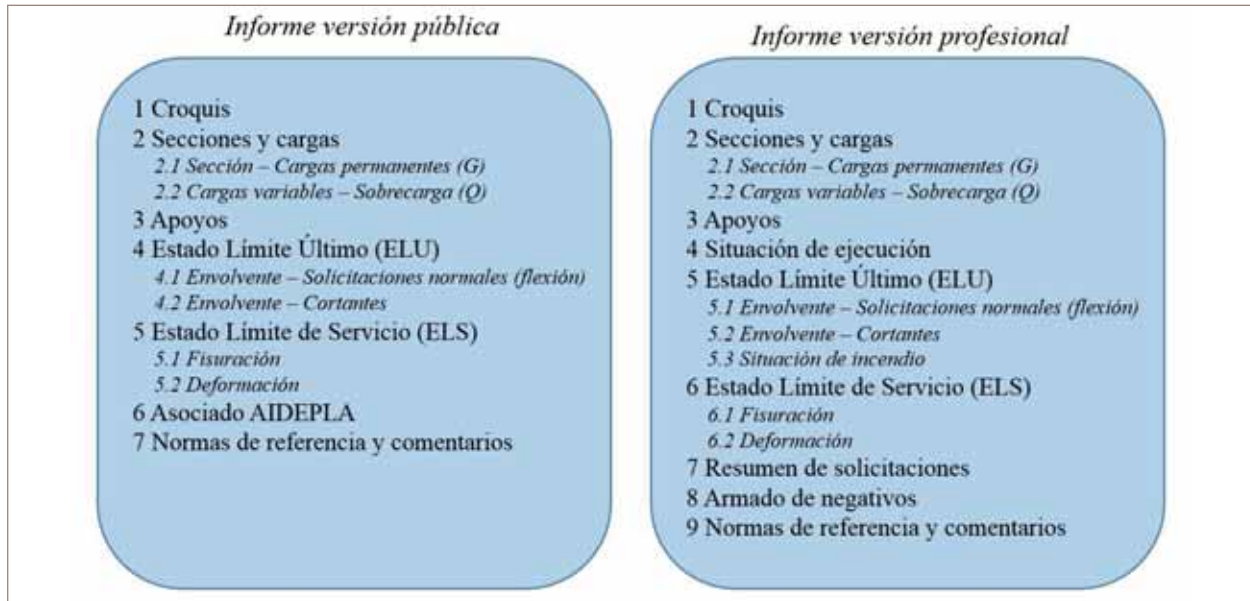
Los tres primeros apartados del informe son comunes para ambas versiones. En estos apartados se muestran todos los aspectos geométricos y mecánicos que se han seleccionado a lo largo de la aplicación, como son: las cargas dispuestas, los detalles de los apoyos, etc.

A partir del apartado 4 del informe, se empiezan a mostrar los diagramas de esfuerzos calculados, que permitirán al usuario

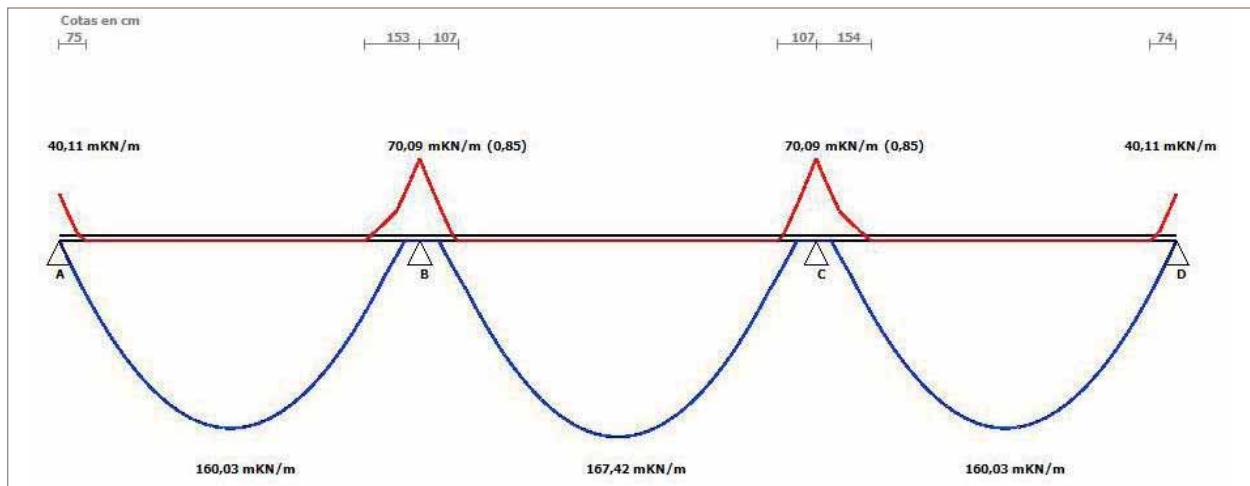
■ Figura 6. Ejemplo de detalle constructivo para apoyo intermedio.



■ Figura 7. Esquema del informe de resultados.



■ Figura 8. Envolvente de flexión.



seleccionar la mejor placa alveolar a disponer en el forjado. Un ejemplo de diagrama de flexión se muestra en la Figura 8.

Cada uno de los diagramas está acompañado por un cuadro informativo como el que se muestra en la Figura 9.

En él se indican las cargas empleadas para calcular el diagrama, con sus condiciones de apoyo (en continuidad o isostático), los coeficientes de mayoración de cargas empleados, el tipo de combinación utilizada y el número de combinaciones analizadas, así como el tipo de redistribución realizada.

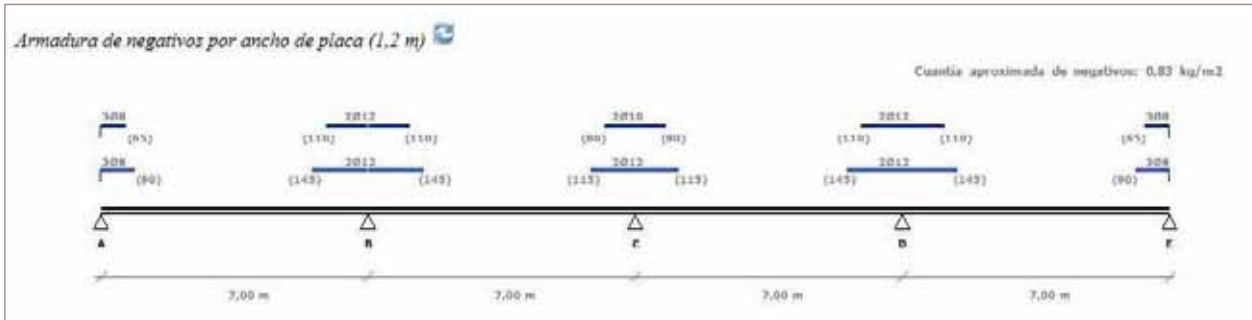
Las principales ventajas del informe de la versión profesional respecto al informe de la versión pública son que proporciona:

- Diagrama para la situación transitoria de ejecución.
- Diagrama para la situación accidental de incendio.
- Análisis de la deformada del forjado.
- Cuadro resumen de solicitaciones que facilita la selección de la placa idónea.
- Propuesta de croquis para negativos.

■ Figura 9. Cuadro de información del diagrama.

Carga Permanente:	G1 + G2 (ISOSTÁTICO) - G3(CONT)	Tipo de Combinación:	Persistente
Carga Variable:	Q - P1 - P2 (CONT)	Nº Combinaciones:	9
$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_Q = 1,5$	Redistribución:	SI (hasta el 15%)

■ Figura 10. Croquis de negativos.



Gracias a estas ventajas, que se ofrecen con la versión profesional, se pueden analizar situaciones transitorias o accidentales de cálculo que en muchas ocasiones pueden llegar a ser determinantes para los requisitos actuales del forjado. También es interesante la obtención de una propuesta de croquis de negativos (Figura 9), que dejará completamente cerrado el cálculo del forjado.

7. Conclusiones

En conclusión, esta nueva aplicación presentada por AIDEPLA y desarrollada por la UPV para el cálculo de forjados de placa alveolar pretende ser una herramienta de referencia para el análisis de este tipo de forjados. La intención en su desarrollo ha sido conseguir que sea flexible para los diversos perfiles de usuario que puedan estar interesados en su uso. Por ello, como se ha descrito, han sido preparadas dos versiones: Una pública que permite abordar de forma introductoria el cálculo de este tipo de forjados, obteniendo los principales diagramas de esfuerzos, etc.; y otra profesional, que facilita al técnico experto el análisis de situaciones transitorias y accidentales de proyecto como la situación de ejecución y la situación de incendio. También permite analizar las deformaciones esperables en el forjado a largo plazo y las ventajas que pueda conllevar una construcción sopandada en determinadas situaciones.

En cuanto a desarrollos futuros de la aplicación, se pretende que sea una herramienta viva y flexible, capaz de adaptarse a las necesidades de los usuarios. Por ello se está trabajando ya en futuros desarrollos para la versión profesional, como son: el enlace directo a las fichas técnicas de los fabricantes y el análisis avanzado de importantes requisitos de resistencia al fuego.

A la aplicación se puede acceder directamente desde la web de AIDEPLA www.aidepla.org.

Para más información sobre el programa y claves de acceso puede dirigirse a: general@aidepla.es.

Bibliografía

- [1] CPH-Comisión Permanente del Hormigón. EHE-08 Instrucción de Hormigón estructural. Ministerio de Fomento. 2008.
- [2] CEN. EN 1168:2005+A3:2011, "Precast concrete products–Hollow core slabs". Brussels, Belgium: Comité Européen de Normalisation; 2011.
- [3] CTE-Código Técnico de la Edificación. DB-Seguridad Estructural. Abril 2009.
- [4] Video tutorial: Programa cálculo AIDEPLA de Forjados de placas alveolares. Versión libre. <https://www.youtube.com/watch?v=7hAkt0UY4s4&feature=youtu.be>.
- [5] Catálogo de detalles constructivos de alveoplacas utilizadas en forjados. AIDEPLA. 2012. <http://www.aidepla.org/recomendaciones/93>.
- [6] Video tutorial: Programa cálculo AIDEPLA de Forjados de placas alveolares. Versión Profesional. Ejercicio 1. <https://www.youtube.com/watch?v=loOEKlahIFA&feature=youtu.be>.
- [7] Video tutorial: Programa cálculo AIDEPLA de Forjados de placas alveolares. Versión Profesional. Ejercicio 2. <https://www.youtube.com/watch?v=IYKH2YF13R0&feature=youtu.be>.
- [8] Video tutorial: Programa cálculo AIDEPLA de Forjados de placas alveolares. Versión Profesional. Ejercicio 3. https://www.youtube.com/watch?v=ZcvCPM_mw58&feature=youtu.be.
- [9] Catálogo de elementos constructivos del CTE- Instituto de Ciencias de la Construcción 'Eduardo Torroja', 2010.
- [10] Calavera, J. Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación. INTEMAC 2002.
- [11] Maestría Internacional en Soluciones Constructivas con Prefabricados de Hormigón o Concreto. ANDECE-STRUC-TURALIA. <http://www.capacitacionprefabricados.com/>.