

Cálculo de forjados de alveoplaca

Iturribizia, S.L.

3 de noviembre de 2010

Índice

1. Características mecánicas de las placas alveolares	2
2. Decisiones previas	2
2.1. Continuidad	2
2.2. La capa de compresión	2
3. Elección del canto del forjado.Peso propio	4
3.1. Limitación de flechas	4
3.2. Predimensionamiento del canto del forjado	5
3.2.1. Predimensionamiento por flecha (ELS)	5
3.2.2. Predimensionamiento a flexión (ELU)	7
4. Acciones	8
5. Análisis. Cálculo de esfuerzos	8
5.1. Cálculo sin continuidad	8
5.2. Cálculo en continuidad	9
6. Determinación del tipo de alveoplaca	10
7. Comprobación de la deformación	11
7.1. Flecha en el caso de tramo aislado o sin continuidad	11
7.1.1. Flecha instantánea	11
7.1.2. Flecha total a tiempo infinito	11
7.1.3. Flecha activa	14
7.2. Flecha en el caso de voladizo	14
7.3. Flecha en el caso de tramos en continuidad	14
7.3.1. Flecha instantánea	14
7.4. Deformaciones admisibles	15
8. Longitud que alcanza la placa sin sopandas	15
9. Comprobación de las juntas entre placas	16
10.Comprobación de la superficie de contacto entre hormigones	17
11.Comprobación a punzonamiento	18

Índice de figuras

1.	Llave de cortante en el contacto entre placas (Manual Aidepla).	3
2.	Comparación de rigideces entre distintos tipos de forjado (Manual Aidepla).	6
3.	Estimación del canto necesario por flexión en ELU en función de la carga total y la luz libre (Manual Aidepla).	7
4.	Leyes de esfuerzos en un elemento biapoyado (Manual Aidepla).	9
5.	Leyes de esfuerzos en una viga continua (Manual Aidepla).	9
6.	Ejemplo de ficha de características (Manual Aidepla).	12
7.	Ejemplo de ficha de características (y 2) (Manual Aidepla).	13
8.	Esfuerzo cortante en la junta longitudinal (Manual Aidepla).	16

Índice de cuadros

1.	Valores del coeficiente C (Manual Aidepla).	5
2.	Valores de h_{min} dados por la expresión 1 expresados en cm. (Manual Aidepla).	6
3.	Coeficientes β y μ para comprobación del rasante (Manual Aidepla).	18

1. Características mecánicas de las placas alveolares

Las características de los forjados de alveoplaca que es necesario conocer para realizar su cálculo, están contenidas en las *Fichas de Características Técnicas* de las correspondientes *Autorizaciones de Uso*. Sus valores deben estar garantizados por el fabricante, en base a cálculos ajustados a la normativa de aplicación. En ellos intervienen aspectos del proceso de fabricación, como el tipo de curado y la edad de transferencia.

2. Decisiones previas

2.1. Continuidad

La continuidad entre tramos consecutivos de un forjado reduce los momentos positivos y las flechas, respecto al mismo forjado con tramos independientes y simplemente apoyados; todo esto a costa de la aparición de momentos negativos. Dicho de otro modo, la continuidad disminuye la necesidad de armadura activa en la alveoplaca, evita la aparición de torsores de equilibrio en las vigas que sirven de apoyo al forjado y, a cambio, aumenta el coste de los trabajos a desarrollar en la obra ya que requiere la disposición de la armadura de negativos. Además, para mantener el mismo valor de las acciones de cálculo, hace necesario elevar el nivel de control de ejecución de la obra a la categoría de *intenso*.

Suele ser necesaria la continuidad del forjado cuando exista limitación en su canto, o alguna otra razón imponga la necesidad de reducir las flechas o los momentos flectores positivos, como por ejemplo cuando es necesario elevar la resistencia al fuego por encima de los valores propios de la alveoplaca.

2.2. La capa de compresión

La capa de compresión permite aumentar los valores de resistencia y rigidez del forjado de alveoplaca, respecto a los que tendría sin ella. Pero, a cambio, se aumenta el peso propio y se pierde sencillez constructiva y rapidez. La capa de compresión exige, además, la colocación de armadura de reparto.

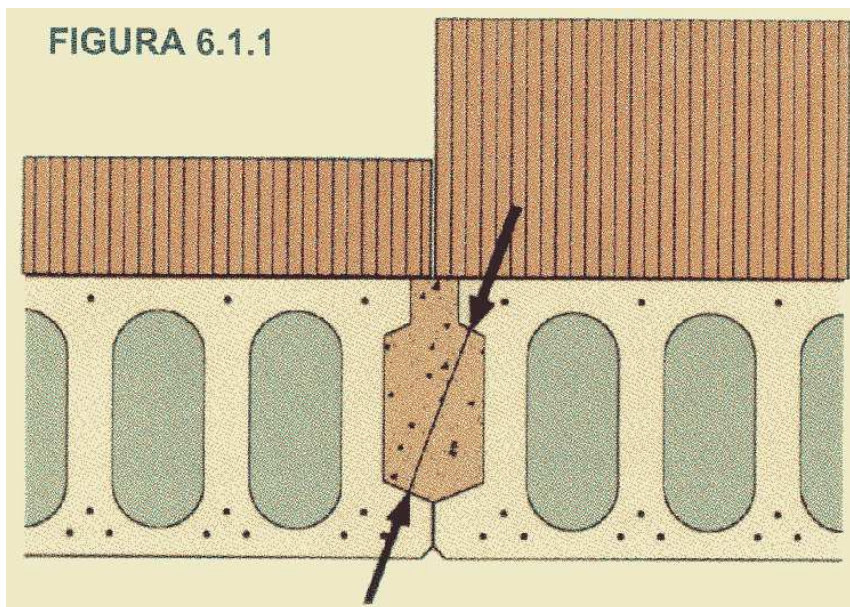


Figura 1: Llave de cortante en el contacto entre placas (Manual Aidepla).

Cuando no se vierte capa de hormigón *in situ*, el forjado va quedando terminado a medida que se colocan las placas, sin más trabajo adicional que el relleno de las juntas y el tiempo necesario para el endurecimiento del mismo, que deberá alcanzar la resistencia especificada. Debe elegirse entre colocar una alveoplasta de la resistencia adecuada en sección simple, o suplementar la resistencia de otra de menor canto o menor armadura de pretensado, mediante la ejecución de la capa de compresión con hormigón *in situ*, de modo que su resistencia en sección compuesta iguale a la de la solución anterior.

La Instrucción EFHE dice expresamente en su Artículo 2.3: *excepto cuando existan acciones laterales importantes, puede prescindirse de la losa superior hormigonada en obra siempre que se justifique adecuadamente el cumplimiento de los estados límite últimos y de servicio*. Las condiciones que debe cumplir el forjado para poder prescindir de la capa de compresión, son:

1. Que las placas tengan un perfil lateral cuya forma asegure la formación de una llave de hormigón entre placa y placa, capaz de transmitir esfuerzos entre ellas (ver figura 1). En la alveoplasta, según los fabricantes, dicho perfil ha sido cuidadosamente estudiado para cumplir esta función.
2. Que las juntas entre placas se macicen totalmente con un hormigón de buena calidad (lo que no debe suponer un gran gasto dado su pequeño volumen).
3. Que se adopten las precauciones necesarias para que las placas no puedan separarse, lo que disminuiría la eficacia de las llaves en las juntas. Generalmente, el rozamiento en los apoyos y un zuncho, o tirante, que enlace los extremos de las placas, es suficiente para conseguir este resultado.
4. Que los esfuerzos de compresión y tracción que produzcan las acciones laterales en el plano medio del forjado, sea adecuadamente resistido por las placas y las juntas, con deformaciones despreciables en ambos elementos. Generalmente, esto se cumple ampliamente en el forjado de alveoplasta. Las condiciones anteriores aseguran la rigidez del forjado en su

plano y la buena conexión del mismo con el resto de la estructura del edificio, para asegurar el efecto diafragma del forjado y el funcionamiento solidario del conjunto estructural monolítico frente a las acciones horizontales.

La capa de compresión en un forjado de alveoplaca puede ser conveniente cuando:

- Deba disponerse armadura de negativos por continuidad entre tramos, y quiera evitarse la abertura de los alveolos de la alveoplaca.
- Sea necesaria una armadura superior transversal a las placas, por existir vuelos laterales u otra causa.
- Se prevean cargas puntuales de gran importancia.
- El uso de aparcamiento, o similar, aconseje repartir entre las placas las cargas móviles y los esfuerzos de frenado.
- Sea aconsejable reforzar la entrega en vigas planas.
- Deban emplearse placas más ligeras que las necesarias para trabajar en sección simple, por carecer de adecuados medios de elevación, y se resuelva el forjado considerando la solución del mismo en sección compuesta
- Sea necesaria una armadura superior longitudinal a las placas, por existir voladizos.
- Cuando la optimización del coste global del forjado de alveoplaca, para conseguir la resistencia, la rigidez y el monolitismo del conjunto estructural requerido, aconseje la disposición de la capa de compresión, como elemento estructural de coste mínimo para cumplir con todos los requisitos.
- Cuando existen acciones laterales importantes.

3. Elección del canto del forjado.Peso propio

3.1. Limitación de flechas

la Instrucción EFHE, Artículo 15.2.1, impone limitaciones a la flecha del forjado a fin de evitar los daños que puede producir un forjado excesivamente deformable. Los tabiques son muy sensibles a la flexibilidad del forjado en que se apoyan, ya que su gran rigidez les impide acompañarle, sin fisurarse, cuando la deformación del forjado supera los límites establecidos.

Los pavimentos rígidos, sin juntas, también tienen dificultades para acompañar, si deteriorarse, las deformaciones excesivas de los forjados. El canto mínimo que debe darse al forjado para una luz determinada, depende de la clase de forjado, de las condiciones de apoyo y de los elementos, susceptibles de sufrir daños, que se apoyen sobre él.

La deformación del forjado aumentará a medida que sus extremos se liberen de coacciones. Así será menos deformable un tramo interior de un forjado continuo que otro exterior, y éste menos que si el tramo está simplemente apoyado en ambos extremos o se encuentra en voladizo.

Por otra parte, las exigencias de rigidez serán mayores si el forjado soporta muros que si soporta tabiques, y menores si se trata de un forjado de cubierta.

TABLA 1: Coeficiente C	
Tipo de Carga	Aislado
Con tabiques o muros	36
Cubiertas	45
NOTA: En el caso de voladizos, C tomará los valores siguientes: 6 si el forjado recibe la carga de tabiques o muros y 9 en otros casos	

Cuadro 1: Valores del coeficiente C (Manual Aidepla).

3.2. Predimensionamiento del canto del forjado

3.2.1. Predimensionamiento por flecha (ELS)

Para un forjado de alveoplaca, con tramos aislados o sin continuidad, de luz L (m) y carga total q (kN/m^2), las condiciones de la Instrucción EFHE conducen al valor de canto total h (m) definido en la expresión 1, que es el mínimo para que no sea necesaria la comprobación de flecha, siempre que las luces no excedan de 12 m, ni la sobrecarga de $4 kN/m^2$ ($400 kp/m^2$) y que la alveoplaca no llegue a superar su momento de fisuración para la combinación infrecuente de cargas. En otras condiciones será necesaria la comprobación de flecha.

$$h_{min} = \sqrt{q/7} \times (L/6)^{1/4} \times (L/C) \quad (1)$$

siendo:

h_{min} : Canto mínimo de un forjado sin continuidad que hace innecesaria la comprobación de flecha.

q : Carga total expresada en kN/m^2 .

L : Luz entre apoyos expresada en metros. La expresión no es válida si este valor es superior a 12.

C : Coeficiente que depende de la función que desempeña el forjado y cuyos valores se obtienen del cuadro 1.

Los valores de h_{min} resultantes de evaluar la fórmula anterior, se dan en la tabla 2, en función de la carga total q (kN/m^2) que soporta el forjado, incluido su peso propio, y de la luz de cálculo L (m) del tramo y expresados en cm.

La tabla 2 da una primera idea del canto total que debe tener el forjado, si se desea evitar el cálculo necesario para la comprobación de la validez de la flecha. Cuando se ha decidido no poner capa de compresión, se busca la alveoplaca que tenga un canto igual al señalado en la tabla para las condiciones existentes, o el superior más próximo. En caso de que haya que ponerse capa de compresión, se estudian las combinaciones de alveoplaca más capa de compresión que cubran el canto deseado. Naturalmente, puede estudiarse la posibilidad de un canto menor, debiendo entonces realizarse la correspondiente comprobación de flecha.

En igualdad de condiciones, un forjado de viguetas armadas es más deformable que otro de viguetas pretensadas. La máxima rigidez corresponde al forjado de alveoplaca (ver figura 2).

La figura 2 ilustra la diferencia entre unos y otros tipos de forjados. El gráfico representa la máxima luz L (m) admisible, sin comprobación de flecha, para un canto total h (cm). Se considera tramo aislado con extremos simplemente apoyados, con una rigidez intermedia entre la

LUZ (m)	CARGA TOTAL EN kN/m ² INCLUIDO EL PESO PROPIO					
	6	8	10	12	14	16
3,00	5 cm	6 cm	7 cm	7 cm	8 cm	8 cm
	6 cm	7 cm	8 cm	9 cm	10 cm	11 cm
4,00	7 cm	9 cm	10 cm	11 cm	11 cm	12 cm
	9 cm	11 cm	12 cm	13 cm	14 cm	15 cm
5,00	10 cm	11 cm	13 cm	14 cm	15 cm	16 cm
	12 cm	14 cm	16 cm	17 cm	19 cm	20 cm
6,00	12 cm	14 cm	16 cm	17 cm	19 cm	20 cm
	15 cm	18 cm	20 cm	22 cm	24 cm	25 cm
7,00	15 cm	17 cm	19 cm	21 cm	23 cm	24 cm
	19 cm	22 cm	24 cm	26 cm	29 cm	31 cm
8,00	18 cm	20 cm	23 cm	25 cm	27 cm	29 cm
	22 cm	26 cm	29 cm	31 cm	34 cm	36 cm
9,00	20 cm	24 cm	26 cm	29 cm	31 cm	33 cm
	26 cm	30 cm	33 cm	36 cm	39 cm	42 cm
10,00	23 cm	27 cm	30 cm	33 cm	36 cm	38 cm
	29 cm	34 cm	38 cm	41 cm	45 cm	48 cm
11,00	26 cm	30 cm	34 cm	37 cm	40 cm	43 cm
	33 cm	38 cm	42 cm	47 cm	50 cm	54 cm
12,00	29 cm	34 cm	38 cm	42 cm	45 cm	48 cm
	37 cm	42 cm	47 cm	52 cm	56 cm	60 cm

Cuadro 2: Valores de h_{min} dados por la expresión 1 expresados en cm. (Manual Aidepla).

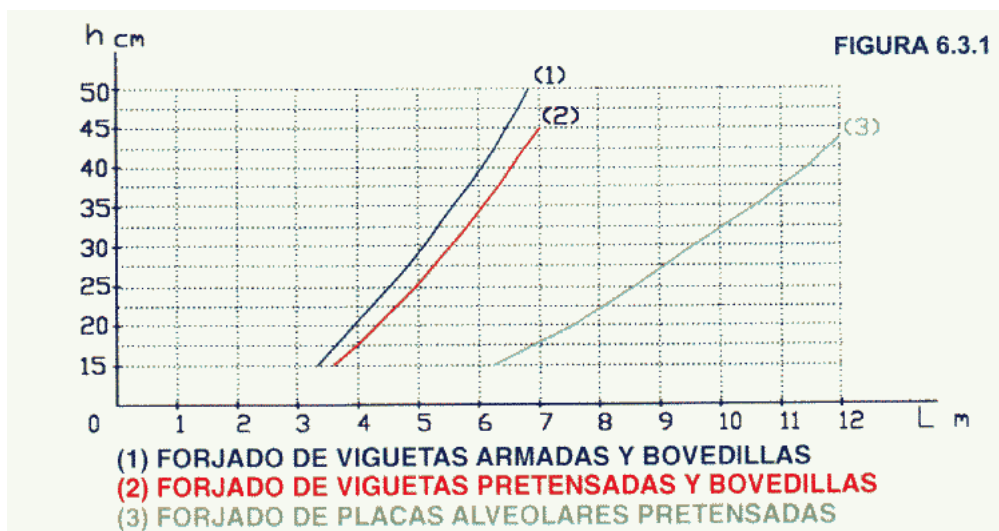


Figura 2: Comparación de rigideces entre distintos tipos de forjado (Manual Aidepla).

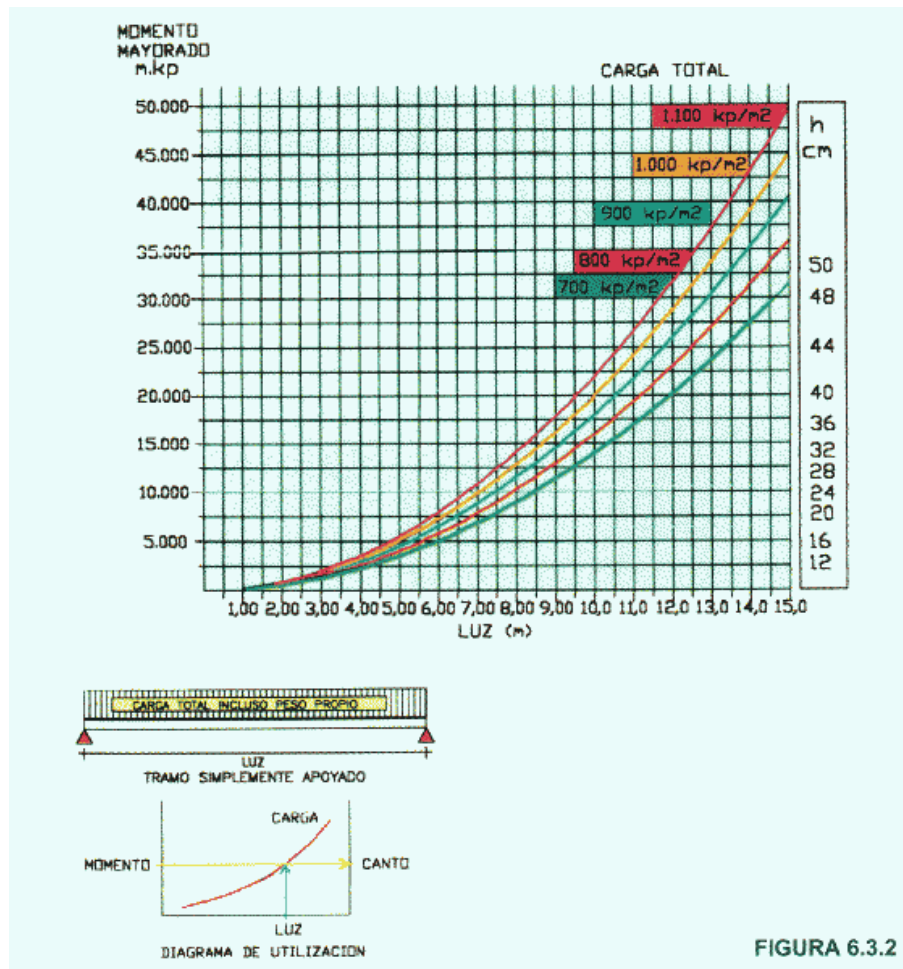


FIGURA 6.3.2

Figura 3: Estimación del canto necesario por flexión en ELU en función de la carga total y la luz libre (Manual Aidepla).

necesaria para soportar una cubierta y la adecuada para soportar tabiques o muros, y tiene una carga total que incluye su peso propio, la carga permanente adicional y 400 kp/m² (4 kN/m²) de sobrecarga. El canto debe elegirse, también, de manera que se alcance la adecuada resistencia. Una determinada resistencia puede obtenerse con diferentes cantos variando la armadura de la alveoplastaca, pero es preferible elegir un canto medio adecuado, que proporcione la rigidez necesaria para cumplir las condiciones de flecha máxima admisible, dejando la variación de la armadura para ajustar la alveoplastaca al estado tensional admisible en servicio y a la seguridad en rotura requerida en estado límite último.

3.2.2. Predimensionamiento a flexión (ELU)

El gráfico de la figura 3 muestra una familia de curvas que representan cinco valores de carga total (peso propio + carga adicional permanente + sobrecarga variable), cuyas abscisas son las luces de un tramo aislado de alveoplastaca, simplemente apoyado, y cuyas ordenadas son los máximos valores mayorados ($\gamma_f = 1,6$) de los momentos flectores producidos por la carga y la luz correspondientes, lo que resulta conservador para el predimensionado del forjado, ya que

la mayoración estricta corresponde a $\gamma_G = 1,35$ y $\gamma_Q = 1,50$ (ambos valores menores que el utilizado 1,6).

A la derecha del gráfico, y con carácter orientativo, se sitúa el valor medio del canto total que debe tener el forjado de alveoplaca, incluida la capa de compresión si la lleva, para ofrecer la adecuada seguridad ante el agotamiento por tensiones normales. Dicho canto puede ajustarse, una vez definidas las condiciones particulares. Una vez elegido el canto de forjado, se busca en la *Ficha de Características Técnicas del Forjado*, que acompaña a la *Autorización de Uso*, el peso propio correspondiente. Conocido el valor del peso propio del forjado, puede pasarse a cuantificar las demás acciones.

4. Acciones

La carga total de un forjado está constituida por su peso propio más la carga adicional; en ésta, debe distinguirse entre la carga permanente adicional, cuya posición y magnitud es constante en el transcurso del tiempo, salvo reforma del edificio, y la carga variable o sobrecarga, que no mantiene posición ni magnitud.

El valor característico que debe asignarse a las diferentes acciones viene dado en la Normativa vigente.

Otras acciones, no gravitatorias, pueden afectar al forjado: Empujes, viento, sismo, etc. Sus componentes horizontales se reparten, mediante el efecto diafragma del forjado, entre los diferentes elementos de la estructura. Las componentes verticales del sismo, especialmente en el caso de voladizos, así como las componentes normales al forjado, producidas por el viento y otros empujes cuando actúan sobre paños inclinados, deberán acumularse a las correspondientes componentes de las acciones gravitatorias, con la ponderación que corresponda en cada caso, según la Normativa vigente.

Debe prestarse atención a las cargas derivadas del proceso de ejecución del edificio, en particular las procedentes del apuntalamiento y desapuntalamiento de las plantas superiores que, en ocasiones, pueden producir sobre el forjado la hipótesis de carga más desfavorable. Sin embargo, esto no suele afectar a los forjados de alveoplaca, puesto que, en general, no precisan sopandas.

5. Análisis. Cálculo de esfuerzos

5.1. Cálculo sin continuidad

Para un tramo aislado, con ambos extremos apoyados, que soporte una carga total uniforme de valor característico q_k (kN/m^2) y salve una luz $L(m)$ (figura 4), los máximos valores característicos de momento flector positivo M_k^+ ($m.kN/m$) y de esfuerzo cortante V_k (kN/m), se obtienen mediante las expresiones:

$$M_k = (1/8) \times q_k \times L^2 \quad (2)$$

$$V_k = (1/2) \times q_k \times L \quad (3)$$

Estos valores, llamados isostáticos por corresponder a una sustentación isostática, son los considerados en los estados límites de servicio (fisuración y deformación), mientras que en los estados límites últimos (rotura) deben tomarse sus valores mayorados $M_d = \gamma_f M_k$ y $V_d = \gamma_f V_k$.

A fin de cubrir un posible grado de empotramiento en los apoyos, en ambos extremos de cada tramo, teóricamente con $M_k = 0$, se considerará la existencia de un momento flector negativo motivado por la posible existencia de coacciones no deseadas al libre giro. El valor de este momento flector negativo se obtiene aplicando el Anejo 4 de la Instrucción EFHE. De acuerdo con las indicaciones de dicho Anejo, puede prescindirse de esta consideración cuando se proyecte la

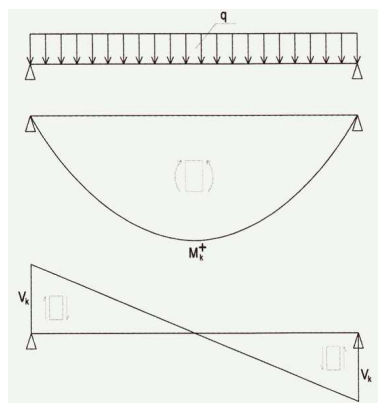


Figura 4: Leyes de esfuerzos en un elemento biapoyado (Manual Aidepla).

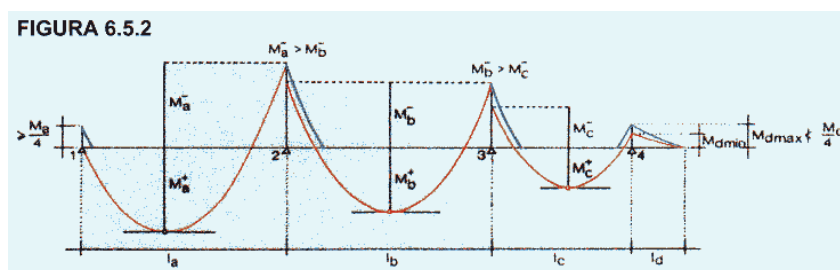


Figura 5: Leyes de esfuerzos en una viga continua (Manual Aidepla).

unión de tal manera que esos momentos no se produzcan. Esto obliga, en general, a disponer una cierta armadura de negativos en los extremos, si se supera la resistencia de la propia alveoplaca frente a dichos momentos.

5.2. Cálculo en continuidad

Cuando se hace necesario calcular en continuidad, a fin de reducir los momentos flectores positivos a costa de aumentar los negativos, y/o para reducir las flechas, el cálculo de solicitaciones, para estados límites últimos, puede hacerse por uno de los siguientes métodos, según el Artículo 7º de la Instrucción EFHE.

1. Cálculo lineal, en la hipótesis de viga continua con inercia constante, apoyada en las vigas o los muros sobre los que descansa.
2. Cálculo lineal con redistribución limitada de momentos según el apartado 21.4 de la Instrucción EHE. Este método permite reducir, hasta en un 15 %, los momentos negativos obtenidos en el cálculo lineal a que se refiere el método anterior, y consecuentemente aumenta los positivos.
3. Considerar como leyes envolventes de momentos flectores las que resulten de igualar, en valor absoluto, los momentos en los apoyos y en el vano, sin plantear la alternancia de la sobrecarga.

Todos los vanos deberán resistir, como mínimo, un momento positivo igual a la mitad de su momento isostático. En los apoyos sin continuidad se considerará un momento flector negativo,

o no será necesaria tal consideración, en función del resultado de aplicar las indicaciones del Anejo 4 de la Instrucción EFHE a cada caso concreto. El método 3 es el más sencillo de aplicar, puesto que, a diferencia de los métodos anteriores, los momentos positivos en cada tramo pueden calcularse con independencia de los contiguos.

Los máximos valores absolutos característicos de momento positivo y negativo, en un tramo de forjado con luz L y carga q_k , se obtienen aplicando:

1. Para tramo interior, entre tramos contiguos, con continuidad en ambos extremos:

$$M_k^+ = |M_k^-| = (1/16) \times q_k \times L^2 \quad (4)$$

2. Para tramo extremo, simplemente apoyado por un lado y el otro en continuidad con el tramo contiguo:

$$M_k^+ = |M_k^-| = (1/11,65) \times q_k \times L^2 \quad (5)$$

Para un forjado de tres tramos, la línea roja de la figura 5 representa el diagrama de momentos flectores en flexión positiva, obtenido por aplicación del método 3) según acaba de exponerse. En los apoyos exteriores de los tramos extremos, se considera momento flector nulo, y si hay voladizos se prescinde de la carga variable en ellos para obtener su valor.

En la misma figura 5, la línea azul muestra el diagrama de flexión negativa, obtenido igualando al mayor, en cada apoyo, los momentos negativos (valor absoluto) de tramos adyacentes, y aplicando, en los apoyos exteriores de los tramos extremos, momentos negativos no inferiores a la cuarta parte del máximo momento positivo del correspondiente tramo extremo; luego se dibujan nuevamente los diagramas de momentos flectores, pasando por los puntos de máximo negativos así fijados.

En conjunto, la figura 5 presenta la envolvente de momentos flectores, obtenida por superposición de los diagramas de flexión positiva y flexión negativa hallados por el método 3). Este diagrama se utiliza, también, para obtener el esfuerzo cortante debido a los momentos hiperestáticos, cuyo valor en ambos extremos de un tramo es igual a la diferencia de valores absolutos de los momentos flectores negativos existentes en ellos, dividida por la luz del tramo. Dicho valor se suma al cortante isostático en un extremo y se restan en el otro.

Para los estados límites de servicio, deben considerarse los esfuerzos, sin mayorar, que se producen en condiciones de utilización del forjado, los cuales corresponden al cálculo lineal, según el método 1, siendo de aplicación directa también a los forjados calculados en estado límite último con el método 2 y con los coeficientes de mayoración habituales. En el caso de que el dimensionado del forjado se haya realizado según el método 3, la comprobación del estado límite de servicio se puede realizar, quedando del lado de la seguridad, mediante el procedimiento simplificado siguiente: cada vano se puede considerar biapoyado y sometido a una sobrecarga ideal que produzca en él el momento flector positivo para el que ha sido dimensionado.

6. Determinación del tipo de alveoplaca

Seleccionado el tipo del forjado, definido por el canto de la alveoplaca más el espesor de la capa de compresión, y conocidos los esfuerzos, puede pasarse a determinar el tipo de alveoplaca adecuado para cada tramo. Para ello, en la hoja de la *Ficha de Características* (figura 7) correspondiente al TIPO DE FORJADO, se busca, para cada tramo, el TIPO DE alveoplaca para el cual el valor de MOMENTO ÚLTIMO en flexión positiva del forjado, sea igual, o inmediatamente superior, al máximo valor de momento flector positivo, mayorado y expresado en $m \cdot kN/m$, del tramo ($M_d^+ \leq M_u^+$).

A continuación, debe comprobarse, para cada tramo, la validez del forjado con el tipo de alveoplaca seleccionado, en relación con el esfuerzo cortante y con el ambiente en que haya de

trabajar. Primeramente, debe verificarse que el valor del CORTANTE ULTIMO del forjado, para dicho tipo de alveoplaca, no sea inferior al máximo valor del esfuerzo cortante, mayorado y expresado en kN/m , del tramo correspondiente ($V_d \leq V_u$).

Seguidamente, se comprobará si el valor de MOMENTO DE SERVICIO SEGUN EL AMBIENTE, es decir según las condiciones de descompresión de la fibra inferior o de abertura de fisura máxima 0,2 mm, en flexión positiva, es igual o superior al máximo valor de momento flector positivo, sin mayorar y expresado en $m \cdot kN/m$ ($M_k^+ \leq M^+ \text{AMBIENTE}$). Si todas estas comprobaciones son favorables, se pasará a estudiar la deformación. En caso contrario, se harán las correcciones pertinentes del tipo o del canto del forjado de alveoplaca.

7. Comprobación de la deformación

7.1. Flecha en el caso de tramo aislado o sin continuidad

7.1.1. Flecha instantánea

Flecha con pieza fisurada Cuando, como es frecuente en el forjado de alveoplaca, se verifica que el máximo valor del momento actuante M_a sobre la sección central del tramo no supera el valor del MOMENTO DE FISURACION de la Fibra Inferior del Forjado M_f , contenido en su Ficha (figura 7), es decir, cuando $M_a \leq M_f$, el tramo no está fisurado en servicio. En este caso, para vanos simplemente apoyados, la flecha instantánea f se determina mediante la expresión:

$$f = (5/384) \times q \times L^4 / K_T \quad (6)$$

siendo:

q : Carga total expresada en kN/m^2 .

L : Luz entre apoyos expresada en metros.

K_T : Rigidez total expresada en $m^2 \cdot kN/m$.

f : Flecha instantánea expresada en milímetros.

Flecha con pieza sin fisurar En el caso de que $M_a > M_f$, el tramo tendrá un cierto grado de fisuración. Aplicando el Artículo 15.2.3.2 de la Instrucción EFHE se obtiene un valor de la inercia equivalente I_e que multiplicado por el módulo de elasticidad del hormigón considerado en las características de la sección resistente (E) determina la rigidez equivalente K_e .

La flecha instantánea f se obtiene por la misma fórmula anterior 6, sin más que sustituir la rigidez total K_T por la rigidez equivalente $K_e \leq K_T$, es decir:

$$f = (5/384) \times q \times L^4 / K_T \quad (7)$$

7.1.2. Flecha total a tiempo infinito

La flecha total a tiempo infinito f_{tot} , se obtendrá sumando a la flecha instantánea debida a las sobrecargas, la flecha adicional diferida producida por las cargas de larga duración estimada aplicando el Artículo 50.2.2.3 de la Instrucción EHE.

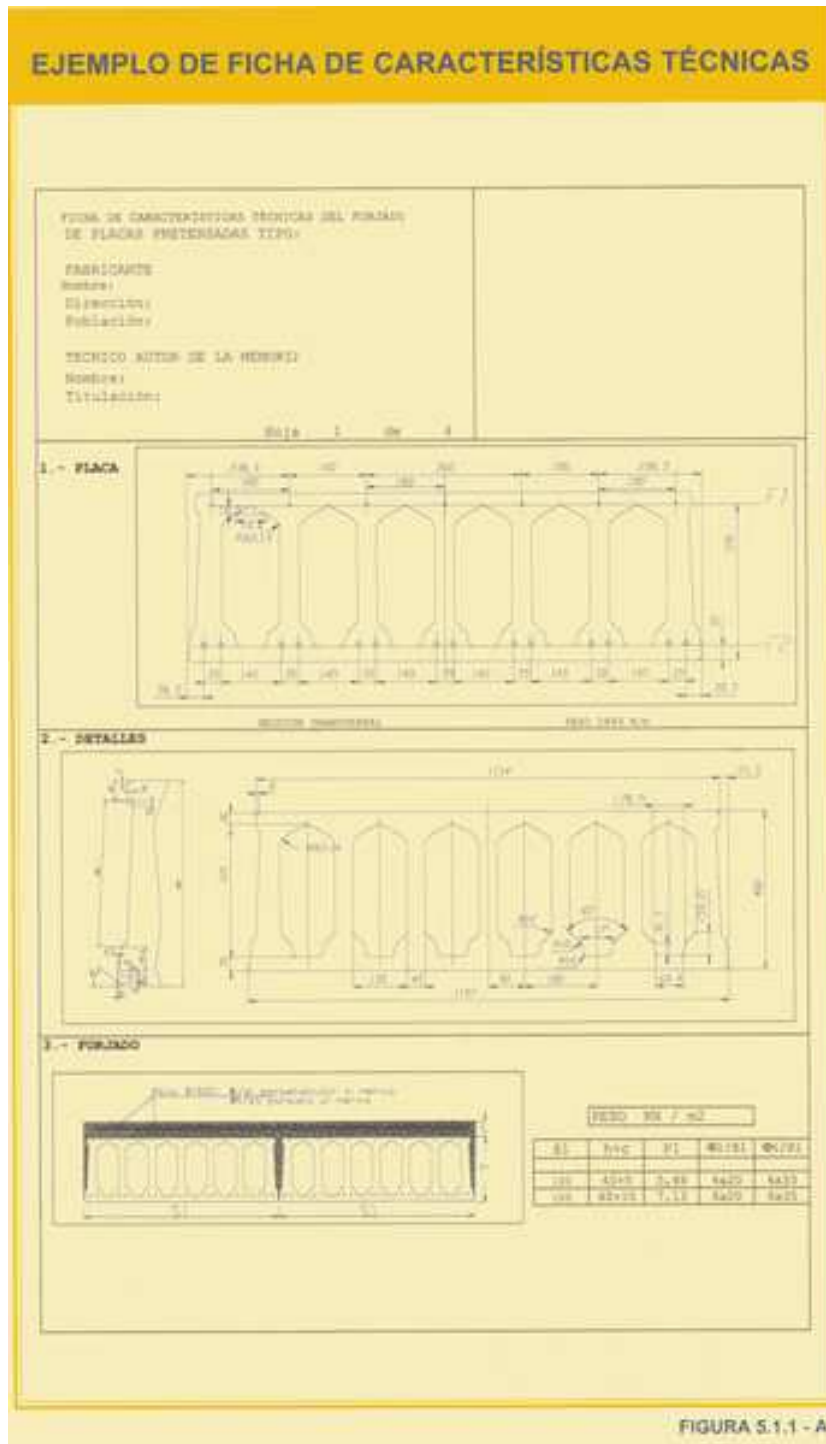


Figura 6: Ejemplo de ficha de características (Manual Aidepla).

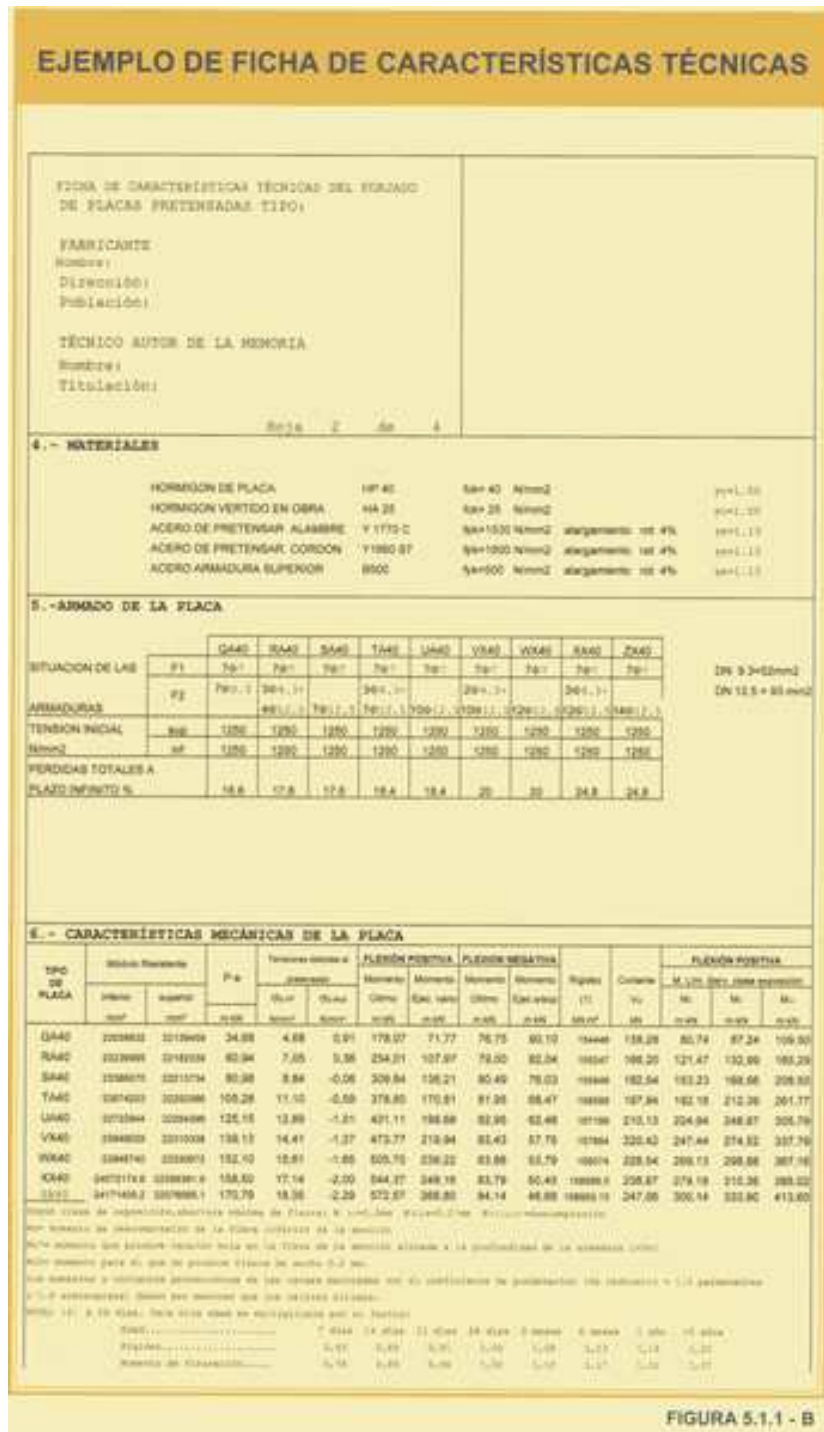


Figura 7: Ejemplo de ficha de características (y 2) (Manual Aidepla).

7.1.3. Flecha activa

La flecha activa f_{act} , respecto a un elemento dañable por la deformación, es la producida a partir del instante en que se construye este elemento; la flecha adquirida por el forjado con anterioridad a la construcción del elemento no tiene efecto sobre él. Por consiguiente, la flecha activa se obtiene restando de la flecha total a plazo infinito la ya producida al construirse el elemento.

La determinación numérica de la flecha con exactitud conlleva la necesidad de conocer el valor exacto del módulo de elasticidad y de la influencia de los fenómenos reológicos, lo que está fuera de las posibilidades reales del cálculo. Por tanto, los valores calculados de flechas siempre serán valores aproximados, debiendo ser interpretados con un amplio margen de tolerancia.

7.2. Flecha en el caso de voladizo

Todos los valores, que para el tramo aislado, caso tratado en el apartado anterior, se referían a la sección central, se referirán ahora a la sección de arranque M_a será su momento de empotramiento, y M_f, K_T, M_f , los correspondientes valores del forjado para flexión negativa en correspondencia con el refuerzo superior. Utilizando el Artículo de la Instrucción EFHE citado en el apartado anterior, se obtiene la inercia equivalente I_e y, a partir de ella, multiplicado por el módulo de elasticidad del hormigón considerado en las características de la sección resistente (E), se obtiene la rigidez equivalente del voladizo K_e . En el caso de que $M_a \leq M_f$, se tomará $K_e = K_T$

El valor de la flecha instantánea f , se halla, en este último caso, aplicando la fórmula que corresponda a las cargas actuantes sobre el voladizo en el caso de pieza no fisurada, utilizando la rigidez K_T . En el primer caso se procede igualmente, utilizando la rigidez equivalente K_e . Por ejemplo, en el caso de carga uniforme q (kN/m^2) y vuelo de luz L (m), dando K_e en $m^2 \cdot kN/m$ se obtiene el siguiente valor de f en mm, como flecha instantánea mediante la expresión:

$$f = (1/8) \times q \times L^4 / K_e \quad (8)$$

La flecha diferida y la flecha activa se obtienen como se dijo en los apartados 7.1.2 y 7.1.3.

7.3. Flecha en el caso de tramos en continuidad

7.3.1. Flecha instantánea

La flecha instantánea puede calcularse considerando para cada vano del forjado un valor único de la inercia equivalente I_e , de acuerdo con el Artículo 15.2.3.2 de la Instrucción EFHE. Para cada tramo, deberán hallarse los valores del momento actuante M_a (mediante cálculo lineal), del momento de fisuración M_f , correspondientes a la sección en el punto medio de la luz (flexión positiva) y en las secciones de apoyo en continuidad (flexión negativa). Se obtendrán los valores de la inercia equivalente en la sección del centro del vano (I_{ec}) y en las secciones sobre apoyos ($I_{e,e1}$ e $I_{e,e2}$ respectivamente). A partir de estos valores se obtiene el valor único de inercia equivalente del vano, mediante la expresión:

$$I_e = 0,50I_{ec} + 0,25(I_{e,e1} + I_{e,e2}) \quad (9)$$

En vanos con continuidad en un solo extremo, la expresión a utilizar es:

$$I_e = 0,75I_{ec} + 0,25I_{e,e1} \quad (10)$$

Donde al extremo con continuidad se le ha denominado $e1$.

Las flechas instantáneas en los diferentes tramos se hallarán como en el caso de viga continua sin fisurar, tomando como rigidez de cada tramo su rigidez equivalente igual a su inercia

única equivalente (I_e) multiplicada por el módulo de elasticidad del hormigón considerado en las características de la sección resistente (E).

La flecha diferida y la flecha activa se obtienen como se dijo en los apartados 7.1.2 y 7.1.3.

7.4. Deformaciones admisibles

La Instrucción EFHE, en su Artículo 15.2.1, establece las siguientes condiciones, indicadas anteriormente en el apartado 5.5 de este Manual.

En todo caso, la flecha total a plazo infinito f_{tot} no excederá el menor de los valores:

$$L/250 \tag{11}$$

$$L/500 + 1 \text{ cm} \tag{12}$$

Para forjados que sustentan tabiques o muros de partición o de cerramiento la flecha activa fact no excederá al menor de los valores:

$$L/500 \tag{13}$$

$$L/1000 + 1 \text{ cm} \tag{14}$$

En las expresiones anteriores, L es la luz del vano del tramo y, en el caso de voladizo, 1.6 veces el vuelo.

Se recuerda lo dicho en 3, respecto al canto mínimo del forjado para el que, en determinadas condiciones, no es necesario realizar la comprobación de flecha.

8. Longitud que alcanza la placa sin sopandas

Una vez elegido el tipo de alveoplaca adecuado, conviene conocer la máxima luz que es capaz de alcanzar sin que sea preciso disponer sopandas en la fase de ejecución del forjado. Precisamente, la posibilidad de prescindir de las sopandas en la mayoría de los casos, es una de las grandes ventajas de los forjados de alveoplaca.

La luz máxima sin sopandas es aquella a la que puede llegar la placa aislada, colocada en obra simplemente sobre sus apoyos, bajo la carga del peso propio del forjado (peso de la placa + hormigón y armadura in situ) q_{pp} incrementada en 1 kN/m^2 como sobrecarga de ejecución q_{ej} .

En esta situación, el momento flector M_k , y el esfuerzo cortante V_k , con valores característicos, son:

$$M_k = (1/8) \times (q_{pp} + q_{ej}) \times L^2 V_k = (1/2) \times (q_{pp} + q_{ej}) \times L \tag{15}$$

Multiplicando los esfuerzos característicos por f se deducen los mayorados, o de cálculo, M_d y V_d . Al ser la de ejecución una fase provisional, el coeficiente de mayoración de las acciones puede ser $\gamma_f = 1,25$, pero no menor (EFHE apartado 16.1 d).

Bajo estas sollicitaciones, la alveoplaca debe cumplir las siguientes condiciones:

1. $M_d \leq M_u$ siendo M_u el momento último de la alveoplaca aislada (en sección simple), valor que viene dado por las *Fichas de la Autorización de Uso* (figura 6).
2. $V_d \leq V_u$ siendo V_u el cortante último de la alveoplaca aislada (en sección simple), valor que viene dado por las *Fichas de la Autorización de Uso* (figura 6). Tanto M_d como V_d , como M_u y V_u , deben referirse a la misma anchura, sea a una banda de un metro o a la anchura real de la alveoplaca.

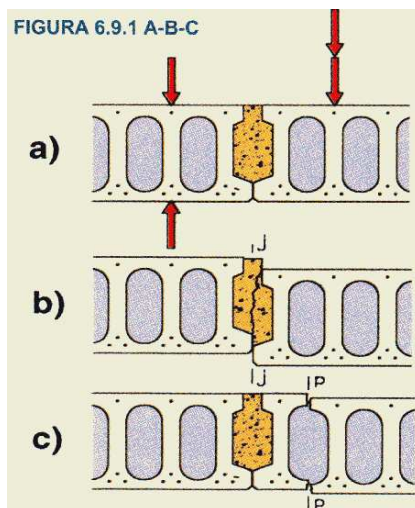


Figura 8: Esfuerzo cortante en la junta longitudinal (Manual Aidepla).

3. La tensión en el borde inferior, producida por la acción combinada de M_k y de la fuerza excéntrica de pretensado, será de compresión o, como mínimo, nula (estado límite de descompresión).
4. La tensión en el borde superior, producida por la acción combinada de M_k y de la fuerza excéntrica de pretensado, no será superior a $0,6 \cdot f_{ck}$, siendo f_{ck} la resistencia característica del hormigón de la alveoplaca.

Cuando el forjado de alveoplaca no lleva capa de compresión, no precisará sopandas. Los fabricantes de alveoplaca asesoran en relación con la máxima luz que cada tipo de placa puede alcanzar, sin sopandas, con distintos espesores de capa de compresión.

9. Comprobación de las juntas entre placas

Cuando dos alveoplasas adyacentes soportan distinta carga, la junta longitudinal entre ellas queda sometida a un esfuerzo cortante con valor de cálculo V_d , igual a la diferencia de cargas mayoradas a uno y otro lado de la junta (figura 8 a). Por tanto debe comprobarse la resistencia de la junta para mantener unidas dos placas cuando una de ellas tiende a "descolgarse" de la otra.

El posible fallo puede producirse en la junta según la línea de fractura j (figura 8 b); pero puede ocurrir que la junta sea más fuerte que la sección más débil de la placa, con lo que el fallo puede seguir la línea de fractura p (figura 8 c).

De acuerdo con el Artículo 14.2.2 de la EFHE, el cortante último V_u de la junta, es decir, el esfuerzo cortante para el que se considera agotada su resistencia, será igual al menor valor de los siguientes:

$$V_u = 0,25(f_{bt,d}\sigma h_f + f_{ct,d}h_t) \quad (16)$$

$$V_u = 0,15f_{ct,d}(h + h_t) \quad (17)$$

Donde:

$f_{bt,d}$: Resistencia a tracción, minorada, del hormigón de la alveoplaca.

$f_{ct,d}$: Resistencia a tracción, minorada, del hormigón vertido en obra, tanto de la junta como de la capa de compresión, si existe.

$\sigma h_f = h_{f1} + h_{f2}$: Suma de los menores espesores de las alas, superior e inferior, de la alveoplaca.

h : Altura neta de la junta, normalmente equivale al canto total de la alveoplaca.

h_t : Espesor de la capa de compresión.

La resistencia característica a tracción f_{ct} del hormigón está definida en el Artículo 30.3 de la Instrucción EHE, de acuerdo con resultados experimentales como:

$$f_{ct} = 0,90 f_{ci} \quad (18)$$

$$f_{ct,fl} = f_{ct} \times (1 + 1,5 \times (h/100)^{0,7}) / (1,5 \times (h/100)^{0,7}) \quad (19)$$

en donde:

f_{ci} : Resistencia a rotura por tracción indirecta.

$f_{ct,fl}$: Resistencia a flexotracción.

f_{ct} : Resistencia a tracción.

h : Canto del elemento en mm.

Si bien, a efectos de los cálculos para el dimensionado se determina, según el Artículo 39 de dicha Instrucción, como:

$$f_{ct,k} = 0,21 (f_{ck})^{2/3} \quad (20)$$

donde f_{ck} es la resistencia característica a compresión del hormigón especificada en el Proyecto y en los cálculos para el dimensionado.

Para el tratamiento de estos detalles específicos, así como para otros más complejos, tales como la existencia de cargas puntuales actuando sobre el forjado, es conveniente consultar con el departamento técnico de cualquier fabricante de alveoplaca.

10. Comprobación de la superficie de contacto entre hormigones

Cuando el forjado lleva capa de compresión, es preciso comprobar la resistencia a esfuerzo rasante en la superficie de contacto entre el plano superior de la alveoplaca y el hormigón de dicha capa.

Según el Artículo 14.3 de la Instrucción EFHE, debe verificarse la condición establecida en el Artículo 47.2 de la EHE respecto de la resistencia a esfuerzo rasante en juntas entre hormigones:

$$\tau_{md} \leq \beta f_{ct,d} + A_{st}/sp * f_{y\alpha,d} (\mu \text{sen}(\alpha) + \cos(\alpha)) + \mu \sigma_{cd} \leq 0,25 f_{cd} \quad (21)$$

siendo:

τ_{md} : Valor medio de la tensión rasante de cálculo de la junta en la sección considerada.

f_{cd} : Resistencia de cálculo a compresión del hormigón más débil de la junta.

A_{st} : Sección de las barras de acero, eficazmente ancladas, que cosen la junta

s : Separación de las barras de cosido según el plano de la junta.

TABLA 4: Coeficientes β y μ		
	Tipo de superficie	
	Rugosidad baja	Rugosidad alta
β	0,2	0,4
μ	0,6	0,9

NOTA: El artículo 47.2 de la Instrucción EHE, contiene criterios para calificar los tipos de superficies

Cuadro 3: Coeficientes β y μ para comprobación del rasante (Manual Aidepla).

p : Superficie de contacto por unidad de longitud. No se extenderá a zonas donde el ancho de paso sea inferior a 20 mm o al diámetro máximo del árido, o con un recubrimiento inferior a 30 mm.

$f_{y\alpha,d}$: Resistencia de cálculo de las armaduras transversales en N/mm², con valor no superior a 400 N/mm².

α : Ángulo formado por las barras de cosido con el plano de la junta. No se dispondrán armaduras con $\alpha > 135^\circ$ ó $\alpha < 45^\circ$.

σ_{cd} : Tensión externa de cálculo normal al plano de la junta. Valores positivos para tensiones de compresión. Valores negativos obligan a considerar $\beta = 0$.

$f_{ct,d}$: Resistencia de cálculo de tracción del hormigón más débil de la junta.

Los valores de β y μ se definen en la tabla 3.

11. Comprobación a punzonamiento

El Artículo 14.4 de la EFHE, establece que debe comprobarse la resistencia a punzonamiento siempre que sobre el forjado existan cargas concentradas importantes. En este caso es conveniente consultar al departamento técnico del fabricante.