Guías técnicas ANDECE

ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL

Versión 2 – marzo 2026

1. PUENTES ***4***

1.1. Generalidades *4*
1.2. Vigas: configuración de los tableros *5*
1.3. Prelosas *13*
1.4. Arcos *15*
1.5. Pilas *16*
1.6. Dinteles o cabeceros *18*
1.7. Estribos *19*
1.8. Elementos complementarios *22*
1.9. Algunas consideraciones de diseño *23*
1.10. Algunas consideraciones de fabricación *27*
1.11. Algunas consideraciones de puesta en obra *28*
Ensanche de puente antiguo mediante marcos de hormigón *29*

2. PASARELAS ***29***

3. CARRETERAS ***31***

3.1. Sistemas de contención de vehículos *31*
3.2. Pantallas acústicas *36*
3.3. Losas para pavimentación de calzadas *38*
3.4. Cunetas *39*

4. PASOS SUBTERRÁNEOS ***41***

4.1. Marcos para formación de galerías *41*
4.2. Bóvedas *43*
4.3. Dovelas para túneles *45*
Dovelas para el túnel de la red de cercanías de Barcelona *47*
4.4. Pórticos para pasos subterráneos *47*

5. VÍAS FERROVIARIAS ***49***

5.1. Traviesas *49*
5.2. La vía en placa *51*
5.3. Elementos auxiliares *53*

6. CONTENCIÓN DE EMPUJES ***54***

6.1. Generalidades *54*
6.2. Muros prefabricados empotrados *55*
6.3. Muros prefabricados de gravedad *58*
6.4. Algunas consideraciones de diseño *62*
6.5. Algunas consideraciones de puesta en obra *63*
6.6. Otras aplicaciones *64*

7. MÁSTILES Y POSTES ***65***

7.1. Soportes de líneas eléctricas aéreas, telecomunicaciones y otros elementos *65*
7.2. Soportes para aerogeneradores *66*

8. REGLAMENTACIÓN ***68***

8.1. A nivel de elementos *68*
8.2. A nivel de estructura *69*

9. SOSTENIBILIDAD ***71***

9.1. Generalidades *71*
9.2. Declaraciones ambientales de producto (DAP) *71*
9.3. DAP sectorial de elementos prefabricados de hormigón *72*
9.4. Contribución a sistemas de evaluación de la sostenibilidad *72*
9.5. Otras consideraciones *73*

10. METODOLOGÍA BIM ***74***

10.1. Conceptos básicos *74*
10.2. Estrategia BIM de las empresas de prefabricados *75*
10.3. Plataformas de objetos BIM *76*
10.4. Entrada del prefabricador al proyecto *79*
10.5. BIM como elemento de diferenciación *80*

ANEXO: PROYECTOS DESTACADOS DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL ***82***

EMPRESAS ASOCIADAS ***83***

SOCIOS ADHERIDOS ***83***

REFERENCIAS ***83***

Esta nueva versión actualiza el capítulo de sostenibilidad (5) donde se destaca la publicación de las DAP sectoriales de ANDECE; actualiza el capítulo de la metodología BIM (6); adapta el capítulo 8 de reglamentación al Código Estructural; e incorpora un nuevo anexo que recoge las presentaciones más recientes de ANDECE sobre proyectos de ingeniería civil con elementos prefabricados de hormigón.

1. PUENTES

1.1. Generalidades

Los proyectos de puentes constituyen en muchas ocasiones, especialmente en aquellos de gran envergadura, algunos de los retos más importantes a los que se enfrenta la ingeniería civil, más aún cuando el progreso de los medios de elevación, los materiales o el propio conocimiento, ha permitido llevar a cabo construcciones en zonas o condiciones difícilmente posibles en el pasado.

Para responder a las exigencias, tanto funcionales como estructurales y estéticas, de las administraciones de carreteras, ferrocarriles, ayuntamientos, regionales y de clientes particulares, los prefabricadores han diseñado soluciones prefabricadas de puentes que cubren hoy día una gama amplísima de tipologías.

La ejecución de puentes recoge las principales ventajas que ofrece la construcción con elementos prefabricados de hormigón, como velocidad de ejecución, control de costes y tiempos, mejor aseguramiento de la calidad (hormigón de mejores características resistentes, facilidad de control en fábrica y en obra, etc.)

Figura.- Estructura de puente mediante varios elementos prefabricados de hormigón: pilas, dinteles y vigas I

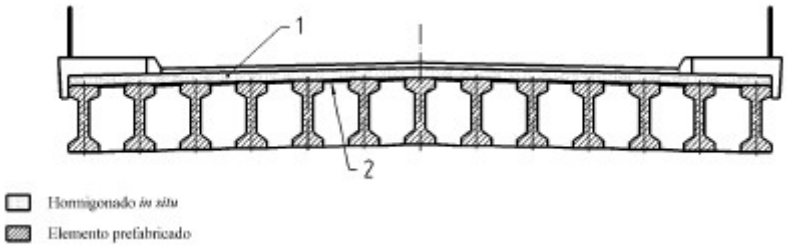
Los elementos prefabricados de hormigón que pueden intervenir en la construcción de puentes, pueden agruparse en tres familias diferenciadas en cuanto a su importancia estructural:

- Elementos de carácter primario en los que es fundamental la capacidad resistente, en los que su colapso ocasionaría un daño grave y global, dejando fuera de servicio la estructura: vigas de apoyo del tablero, pilas, dinteles, etc.;
- Elementos de carácter secundario en los que es fundamental su capacidad resistente, pero en los que el fallo produce sólo daños locales: prelosas, pretiles, aceras en voladizo, etc.;
- Elementos en los que no es fundamental su capacidad resistente, siendo más importantes sus características estéticas o funcionales: bordillos, impostas, etc.

1.2. Vigas: configuración de los tableros

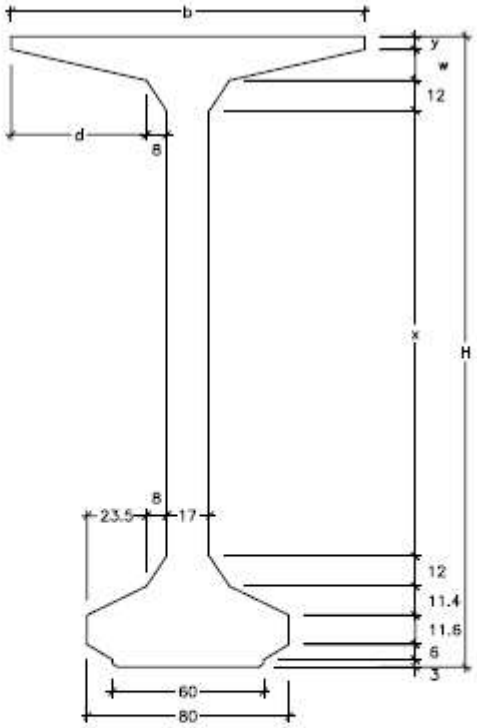
1.2.1. Tableros de vigas I

Son los tableros más extendidos. Es difícil que un usuario no experto en puentes sepa apreciar la diferente tipología del tablero circulando por debajo a más de 100 km/h. En un entorno urbano, el puente es mucho más visible, aunque la estética es una cuestión subjetiva difícil de medir.



Se fabrican con cantos entre 0,60 m y 2,50 m, cubriendo con tramos isostáticos luces de hasta 50 m, a base de aumentar el número de vigas por vano. El ancho de los tableros no suele ser excesivamente ancho (no más de 15 m) que se conformaría con 5 o 6 dispuestas en paralelo.

Las secciones adquieren forma de doble T, que es como habitualmente se conocen, teniendo habitualmente cada fabricante un catálogo de vigas con sus respectivas dimensiones y secciones tipo, que permiten adecuar sus características resistentes a cada proyecto específico.

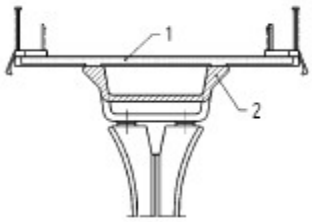


	CARAC. GEOMÉTRICAS						CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS				
										c.d.g (cm)	
Modelo	H	x	y	w	b	d	Peso (kg/m)	Área (cm^2)	Inercia (dm^4)	inf.	sup.
VP 152.140	152	79	5	12.3	140	53.5	1.467,7	5.870,9	1868,2	76,7	75,3
VP 167.140	167	94	5	12.3	140	53.5	1.513,5	6.125,9	2364,6	84,0	83,0
VP 180.140	180	107	5	12.3	140	53.5	1.586,7	6.346,9	3061,0	90,3	89,7
VP 187.140	187	114	5	12.3	140	53.5	1.616,5	6.465,9	3134,0	93,7	93,3
VP 202.140	202	129	5	12.3	140	53.5	1.680,2	6.720,9	3795,6	101,1	100,9
VP 222.140	222	149	5	12.3	140	53.5	1.765,2	7.060,9	4795,6	110,8	111,2
VP 250.140	250	177	5	12.3	140	53.5	1.884,1	7.536,2	6433,6	124,6	125,4

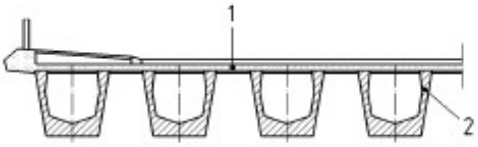
Figura.- Modelos viga VP de una de nuestras empresas asociadas

1.2.2. Tableros de vigas U o artesa

Se conocen también como vigas en U (sin alas superiores) o en cajón (alas superiores que pueden disponerse hacia dentro, o bien hacia afuera, siendo estas últimas las más habituales). Están muy extendidos si por razones estéticas son visibles por debajo desde la carretera o en puentes urbanos. Se trata de una solución muy adecuada cuando se intenta minimizar el coste de la subestructura portante (cimentaciones, pilas y dinteles).



Viga en cajón simple



Viga en cajón múltiple

1 Losa hormigonada in situ

2 Viga prefabricada

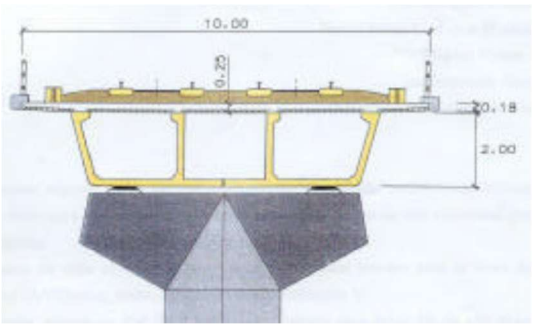
La solución más habitual es que el tablero lo conformen varias vigas (adosadas o separadas), pero también nos podemos encontrar con puentes de una sola artesa, siendo ésta de más anchura (hasta 14 m) con lo que se agiliza la ejecución.

Las vigas se fabrican con cantos entre 0,90 m y 2,70 m, cubriendo con tramos isostáticos luces de hasta 50 m en carreteras y hasta 40 m en ferrocarril; en configuraciones hiperestáticas puede llegarse hasta 100 m a base de cosidos de continuidad entre tramos con barras o cables. También se fabrican con canto variable y para soluciones con tramos divididos en su longitud en dos piezas, una en voladizo sobre la pila, de canto generalmente variable, y otra cubriendo el vano central entre las anteriores, de canto generalmente constante.

Las caras laterales e inferiores son generalmente planas, pero también pueden ser curvas por motivos de estética.

En el caso de que el trazado sea curvo, aunque sería posible la fabricación de vigas con trazado también curvo, se resuelve habitualmente con las vigas siguiendo una poligonal de forma que son las prelosas de voladizo las que se adaptan la estructura al trazado, como puede verse en las imágenes siguientes:

En el caso de tableros de mayor anchura o por motivos de resistencia se pueden fabricar vigas artesa de cajón multicelular, divididas longitudinalmente en varias partes que se unen con junta “in situ” en las losas superior e inferior. También conocidas como vigas asimétricas adosadas, el rango de uso de esta aplicación está en torno a los 14 m en puentes de ferrocarril, pudiendo llegar a mayores anchuras (< 24 m) en carreteras mediante la ayuda de apoyos laterales (jabalcones).

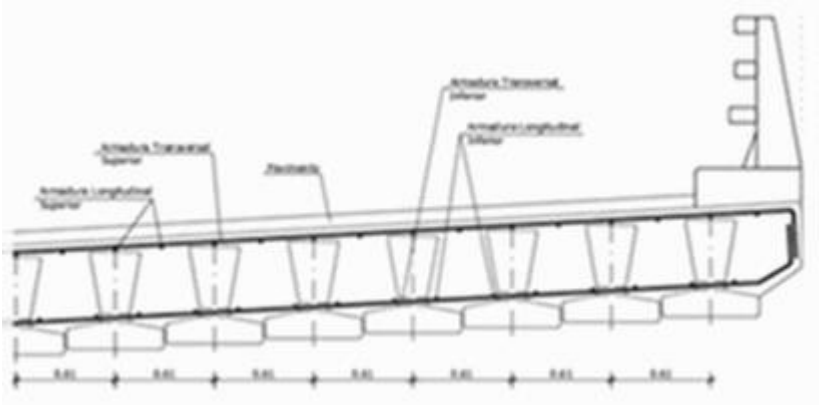


1.2.3. Tableros losa de vigas en T invertida

1.2.3.1. Con relleno de hormigón

Se utilizan en tableros con longitudes hasta 20 m aproximadamente, cuando se trata de alcanzar el menor canto posible y un aspecto de “techo plano” visto desde debajo, conformando una estructura lo más similar posible a una losa ejecutada in situ, con juntas entre vigas de entre 1 y 4 cm.

Los huecos entre las vigas, con cantos entre 35 y 65 cm aproximadamente y ancho entre 50 y 70 cm, se rellenan con hormigón vertido in situ, de forma que este hormigón solamente debe rebasar la cara superior de las vigas en un máximo de 10 cm. Las armaduras transversales inferiores de la losa así conformada se enhebran por huecos que incorporan las vigas, como puede verse en la imagen siguiente:

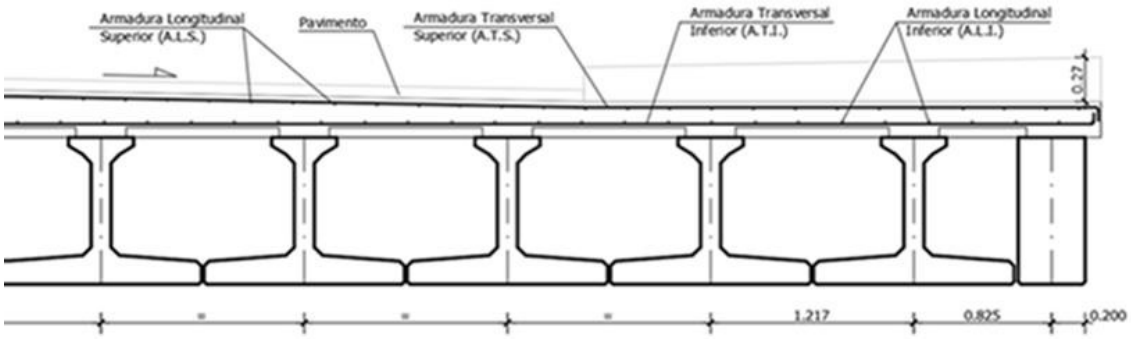


1.2.3.2. Sin relleno de hormigón

Se pueden disponer vigas adosadas en T invertida (con un alma) o en TT invertida (con dos almas), sin hormigonar los senos entre vigas.

Esta tipología participa de las ventajas de las vigas para tablero losa (muy elevada esbeltez, apariencia de “techo plano”) y de las vigas doble T normales (losa a ejecutar in situ de espesor mínimo 20 a 25 cm) a un intereje superior (habitualmente entre almas 120 cm), posibilidad de disponer prelosas de voladizo variable, generando espacios entre las vigas muy apropiados para la disposición de conducciones que quedarán protegidas

Estas vigas tienen cantos entre 55 cm y 160 cm y con ellas se pueden conformar tableros de hasta 40 m de longitud.



1.2.4. Tableros de dovelas

Las dovelas o cajones (no confundirse con las empleadas en los túneles) son elementos que podríamos asemejar a una pieza conjunta formada por la viga artesa y la prelosa superior. Se alcanzan dimensiones mayores que en los casos de los tableros de vigas I o artesa, pudiendo cubrir la anchura necesaria del tablero (hasta 15 m) con una única pieza. Su limitación geométrica vendrá determinada por la solución óptima económica (repercusión del transporte, izado y unión de elementos prefabricados), yendo a longitudes de 4 m aprox. (relación canto/longitud ≈ 1/17), para pesos de hasta 60 – 70 Tn.

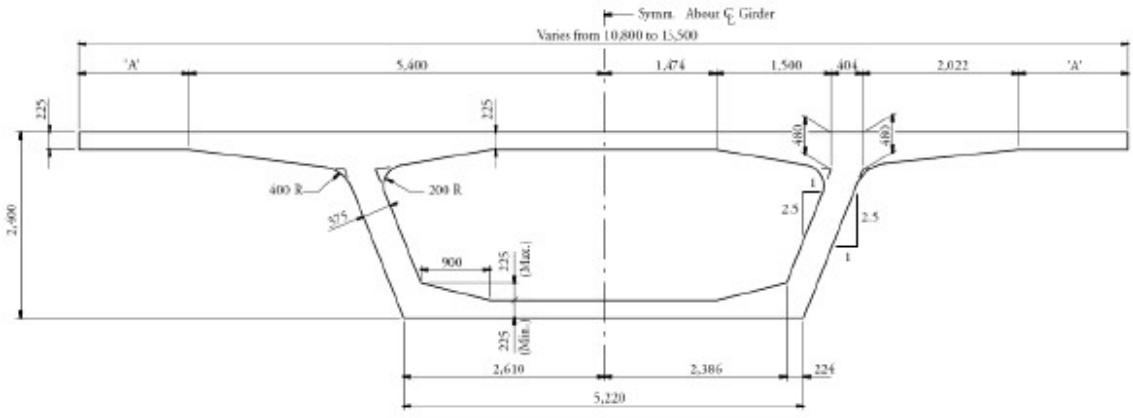


Figura.- Sección de dovelas para puentes de AASHTO-PCI-ASBI. El ancho eficaz oscila entre 8 y 15 m

1.2.4.1. Dovelas de sección completa o incompleta

Dependiendo de la anchura del tablero y del peso adecuado para los medios de transporte y montaje a utilizar, se pueden construir las dovelas con la sección

completa del tablero o sólo del cajón central, añadiendo posteriormente “in situ” las losas en voladizo de ambos lados, con o sin jabalcones, rigidizadores, montantes, etc. elementos que también pueden ser prefabricados.

Figuras.- Los jabalcones son elementos singulares de gran calidad estética que permiten aumentar la anchura efectiva, trasladando las cargas laterales al núcleo del tablero

1.2.4.2. Dovelas de sección completa unidas por la losa de tablero

En el caso de autopistas y autovías, es decir, carreteras de calzadas independientes, se puede optar por dos tableros distintos realizados con dovelas de sección completa o bien unidos por la losa de tablero mediante una junta longitudinal hormigonada “in situ”.

1.2.4.3. Dovelas unidas por las losas superior e inferior para formar cajón multicelular

Si el tablero es muy ancho se puede optar por un cajón multicelular con vuelos en ambos lados. Si las dovelas en sección completa son muy grandes y pesadas se pueden dividir en dos o más partes que posteriormente se unen mediante juntas longitudinales hormigonadas “in situ” en las losas superior e inferior.

1.2.5. Tableros completos

Es una solución muy especial debido a su gran peso, que requiere medios de transporte y montaje excepcionales (barco, carretera, etc.). Se ha recurrido a ella en

puentes de gran envergadura, requiriendo más que nunca un cuidado detalle en todas las fases de construcción.

1.3. Prelosas

Se disponen encima de los tableros formados por las vigas, sirviendo como encofrado para la losa superior vertida in situ y formar una placa que trabaja solidariamente. Normalmente son de sección maciza, aunque también se ha llegado a probar losas alveoladas. Su misión es agilizar la ejecución del puente y con ello abaratar aún más la solución global de la obra.

1.3.1. Losas de encofrado perdido entre vigas

Es la forma más extendida de encofrar los vanos entre vigas I o vigas artesa y los vanos interiores en las vigas artesa. No permiten realizar vuelos por el exterior de las vigas laterales. Tienen espesores de 6 a 7 cm, aunque en casos excepcionales se puede reducir el espesor a 5 cm, o bien emplear otros materiales para cumplir esta función tales como chapas grecadas (muy frecuentes en tableros de vigas adosadas en T invertida).

1.3.2. Prelosas o semilosas entre vigas o con vuelos exteriores

Tienen espesores de hasta 8 cm. Valores más altos no son económicos, generan unas solicitaciones en las vigas muy difíciles de compensar (al actuar sobre la sección de viga sola) y dificultan mucho la colocación de armaduras in situ, muy en particular para el anclaje de los pretiles de borde.

Con disposiciones de armadura en forma de celosía plana (una barra superior y una inferior) o de sección triangular (una barra superior y dos inferiores) hormigonando después el espesor que falta de la losa. Si es necesario, incorporan conectores de armadura entre ambos hormigones.

En tableros de grandes vuelos exteriores y gran separación entre vigas se ha utilizado este sistema para losas de tablero pretensadas transversalmente, aunque no es una solución habitual.

Una variante compleja y de la que disponen algunos fabricantes, son aquellas prelosas con formas especiales: con nervios rigidizadores, quebradas, etc. y que pueden alcanzar anchuras del orden de 15 m. Es una solución muy frecuente en el caso de estructuras mixtas (con vigas metálicas) o para el caso de ampliaciones de puentes existentes en las que en lugar de una viga artesa prefabricada se dispone un zuncho de apoyo y anclaje en la estructura existente.

1.3.3. Losas de espesor completo

Esta tipología es habitual para ampliaciones de trazado (por ejemplo, carreteras a media ladera y estructuras existentes) en las que se puede circular con los medios auxiliares de obra sobre las losas ya montadas, acelerando al máximo el avance de la ejecución de la estructura.

Generalmente cubren toda la anchura del tablero y se emplean en tableros sobre dos vigas I o una monoviga. Se unen entre ellas mediante juntas transversales “in situ” y a las vigas mediante ventanas también hormigonadas “in situ”, por lo que los conectores de las vigas se disponen en zonas localizadas en lugar de distribuirse por toda la viga sin discontinuidades.

Si no cubren toda la anchura del tablero necesitan juntas longitudinales, más difíciles de realizar por afectar a la armadura transversal del tablero, mucho más importante y densa que la longitudinal.

1.4. Arcos

Son elementos lineales con un radio de curvatura determinado sobre los que puede apoyar directamente el tablero, o los montantes del puente. Están conformados normalmente a partir de tramos de arcos articulados pudiendo llegar a radios elevados, permitiendo así trasladar cargas importantes y salvar distancias considerables.

Los arcos pueden realizarse a partir de piezas curvas fijas o con dovelas (huecas), según las limitaciones que puedan fijar el transporte o la ejecución.

Figura.- Viaducto de Cieza (Santander). Arco construido con dovelas prefabricadas: 5,5 m ancho; 2,60 a 1.8 m canto lineal y espesor 0,25 m.

Se trata de una tipología estructural clásica de puentes, por lo que se aviene muy bien para la rehabilitación de puentes antiguos sin dañar la estética original.

Si bien no formaría parte de la estructura principal del puente, sí podríamos incluir en este punto los arcos que se emplean para cerrar lateralmente el puente, solución justificada fundamentalmente por su aporte estético.

1.5. Pilas

Elemento lineal vertical de sección maciza o hueca para el soporte de la estructura del puente y transmisión de las cargas a la cimentación. Se trata de una parte de la estructura que pocas veces se prefabrica, ya que la opción in situ permite encofrar desde el suelo. No obstante, la mejora en la capacidad resistente del hormigón (más y mejor empleada en las plantas industriales de prefabricados) está permitiendo lograr

secciones óptimas difícilmente alcanzables por la ejecución in situ, por lo que comienza a ser una solución cada vez más demandada, además de reducir de manera importante los plazos y optimizar la gestión de la obra simplificando las actividades necesarias a pie de obra.

La altura de la pila podrá resolverse mediante uno o varios elementos que tendrán que conectarse.

Hay otra posibilidad de que las pilas sean más largas y sirvan además de pilote de cimentación, aunque en este caso conlleva una longitud más larga (piezas más pesadas) por lo que se suele recurrir a construirlo in situ.

Se utilizan generalmente en pasos superiores o puentes de altura reducida, en general no mayor de 10 m.

Si sobre el fuste se coloca un apoyo único y la sección del fuste es suficiente, no será necesario disponer un capitel de ensanchamiento en la parte superior. En caso de necesitar dos apoyos, en sentido longitudinal del puente o en sentido transversal, el capitel se puede abrir en forma de palmera.

Estos fustes pueden ser de secciones muy variadas: circular, cuadrada, poligonal, etc. de acuerdo con la estética requerida.

La unión a la zapata puede ser por introducción del fuste en un cáliz o mediante anclaje de barras de armadura que sobresalen de la cara inferior del fuste y se introducen en vainas dejadas en la zapata.

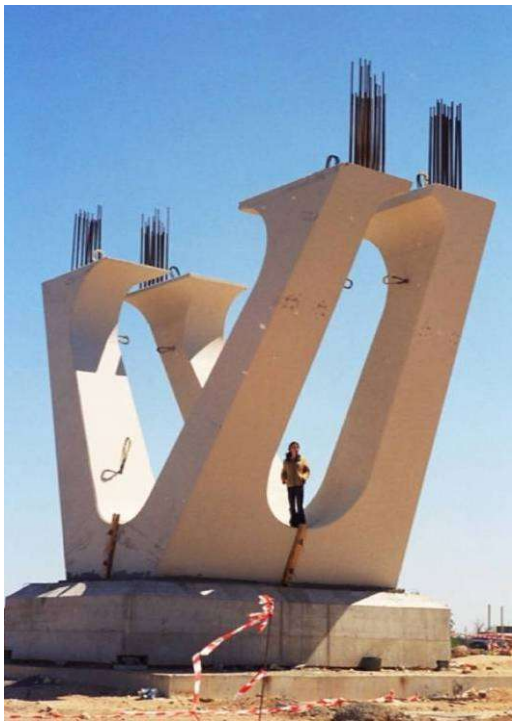


Figura.- Pila en V

1.6. Dinteles o cabeceros

Son los elementos que se unen a los fustes de las pilas para proporcionar la superficie que se necesita para la disposición de los apoyos de las vigas del tablero, con secciones macizas o aligeradas (trapecial, dinteles en pi, etc.) y longitud variables para ajustarse a las dimensiones requeridas por la tipología del apoyo de las vigas o del ancho del tablero.

Las tipologías estructurales más habituales son:

- Dinteles en pieza única sobre una o varias pilas;
- Semi-dinteles para unir "in situ" que permite mayores dimensiones al reducir el peso de cada pieza;
- Dinteles en pi para apoyo de dos vigas artesas o varias dobles T en tableros de hasta 12 m de ancho y luces menores de 45 m;
- Dinteles trapezoidales en tableros de vigas prefabricadas de cualquier ancho.

Figura.- Colocación dintel prefabricado sobre pilas prefabricadas

Una variante es el capitel, elemento de coronación superior para ensanchamiento de la pila y lograr así una mayor base de apoyo.

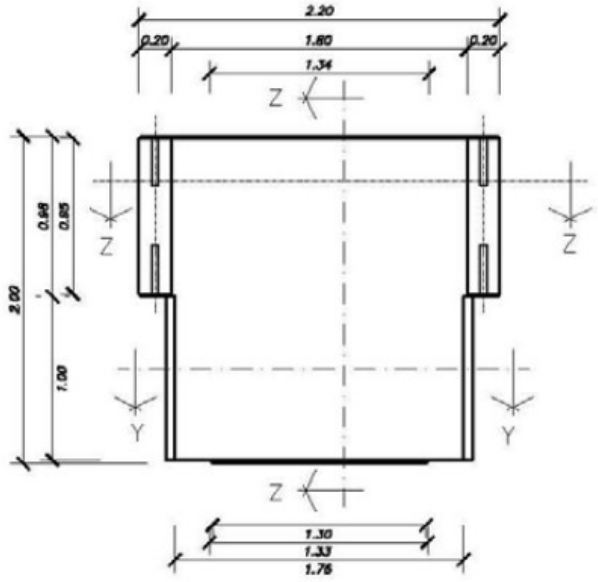
1.7. Estribos

Los estribos tienen una doble función: servir de apoyo al tablero en los extremos del puente; y soportar el terreno del trasdós.

1.7.1. Estribos de escamas prefabricadas

Los sistemas denominados coloquialmente como de tierra armada o reforzada, se utilizan tanto en estribos de puentes para apoyo de tableros como para la formación de paramentos de contención de los terrenos contiguos (márgenes de carreteras o líneas de ferrocarril). En ambos casos, su funcionamiento se basa en el mismo principio:

- Paramento exterior mediante placas prefabricadas de hormigón armado de pequeño espesor, que encajan unas en otras. Formas típicas: hexagonal, cruciforme, cuadradas, etc.;



- Refuerzo del macizo de relleno mediante flejes, metálicos o sintéticos, que provocan el rozamiento con el terreno y que fijan las placas de hormigón. Así, el propio macizo se convierte en muro de contención, con lo que no necesita cimentación alguna, ya que su base de apoyo es toda la superficie del terraplén. Esto hace que su utilización sea muy indicada en suelos compresibles y de baja capacidad portante.

Figura.- Estribo a base de escamas prefabricadas. Puente resuelto además con viga artesa y prelosas prefabricadas

Su uso en puentes evita las grandes y complejas cimentaciones típicas de estas estructuras, con la ventaja de realizar el terraplén del trasdós a medida que se va levantando la estructura, quedando al final los dos trabajos realizados de manera simultánea.

Al tratarse de elementos típicos que vemos continuamente en numerosas zonas de puentes y carreteras, pueden contar con acabados decorativos que refuercen la estética, de la misma forma que se hace en la edificación con los paneles de hormigón arquitectónico. De esta forma, el proyectista puede jugar con una gama prácticamente ilimitada de texturas, colores, inclusión de formas, etc. que vayan más allá del acabado limpio de hormigón.

1.7.2. Estribos de muros con contrafuertes

Se componen de una placa vertical de pequeño espesor que forma el paramento exterior del estribo con sus muros de acompañamiento y que lleva uno o dos nervios de refuerzo o contrafuertes, en el lado del terraplén. Suelen tener un ancho estándar de 2,4 o 1,2 m. Del extremo inferior del nervio salen las armaduras para anclaje de los elementos a la zapata de sección rectangular hormigonada “in situ”.

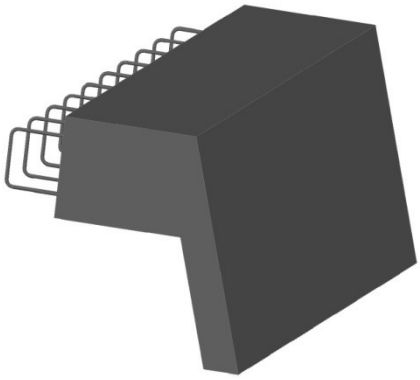
Igual que en el caso anterior, se trata de una solución utilizada tanto para ejecución de estribos de puente como de muros de contención. Es una solución muy usual en pasos superiores e inferiores, tanto de carreteras como de ferrocarril, llegando a alcanzar hasta 18 m de altura aproximadamente.

Sobre los mismos puede descansar el tablero. También es posible dotarles de acabados decorativos, adaptándose a los medios rurales o urbanos según sea su entorno.

1.8. Elementos complementarios

1.8.1. Impostas

Se trata de elementos prefabricados utilizados para remate y terminación lateral de tableros de puentes de carreteras y ferrocarril, con sección habitual de L abierta y alturas máximas de 60 cm y 2 – 3 m de longitud aproximada. A veces el proyectista aprovecha el diseño de estas piezas para dar una singularidad y un sello particular a la obra. En muchas ocasiones, también se utilizan para formar parte de la acera del tablero o incluso para albergar placas embutidas para posteriormente soldar la baranda de los puentes.



1.8.2. Pretiles

Los pretiles son sistemas de contención de vehículos que se disponen específicamente sobre puentes, obras de paso y eventualmente sobre muros de sostenimiento del lado del desnivel. Lo veremos con más detalle en el apartado de sistemas de contención para carreteras.

1.9. Algunas consideraciones de diseño

1.9.1. Rol de prefabricador

La inclusión de elementos prefabricados en la estructura del puente es una decisión que el proyectista debe tomar al inicio, para valorar su idoneidad y su posible interacción con otros materiales o elementos.

Así como no existen soluciones únicas de estructuras, del tipo que sean y para una serie de condiciones prestablecidas, tampoco es posible definir una solución óptima de prefabricación. Podrán existir muchas posibilidades, todas ellas factibles. En este sentido, como ya sucede con otros tipos de sistemas constructivos, el proyectista debería apoyarse en el prefabricador, quien puede jugar un papel más o menos relevante en función del grado de industrialización que se acabe empleando en el puente, pudiendo encontrarse frente a dos situaciones principalmente:

- Si es una etapa todavía temprana del proyecto, el cliente o autor del proyecto apenas imponga condicionantes de diseño, pudiendo apoyarse en el asesoramiento técnico del prefabricador para la toma de decisiones;
- Que el proyecto estructural esté prácticamente definido, por lo que el papel del prefabricador se reduce a ofrecer la solución más optimizada al proyecto dentro de su “catálogo técnico” de elementos.

En el caso de puentes que incorporen elementos prefabricados de hormigón, la primera situación es la idónea pues evita en gran medida ciertas indefiniciones que podrían causar problemas posteriores ya durante la fase de ejecución. Bajo este enfoque, puede afirmarse que el proyectista subcontrata parte de la ingeniería del proyecto en el prefabricador, que no sólo se encarga de la producción y el suministro de las piezas, sino que interviene en el diseño de la estructura.

La modulación resulta un concepto esencial que cualquier proyectista debe tener en mente a la hora de diseñar una estructura prefabricada. Se refiere a definir la estrategia de cómo se pretende trocear y despiezar la estructura completa y plantear los procesos constructivos asociados.

Y otro aspecto determinante es el carácter evolutivo del puente. Los puentes son estructuras sometidas a esfuerzos importantes que se van introduciendo y que gravitan sobre la propia estructura durante el proceso de construcción (peso propio,

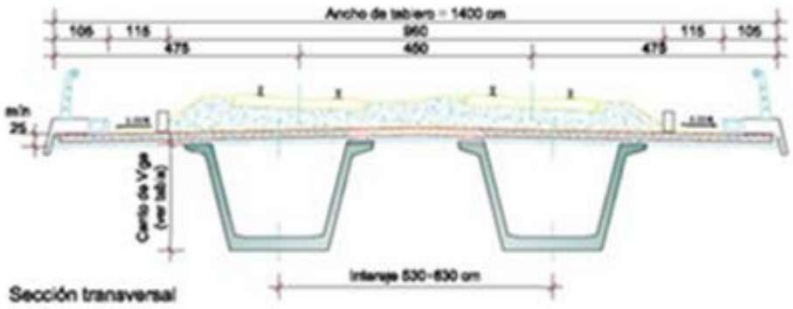
esfuerzos aplicados por los equipos de montaje, equipos auxiliares para encofrado de las partes in situ, etc.). La definición del proceso constructivo es fundamental al inicio del proyecto, con análisis secuencial del evolutivo considerando fases parciales de ejecución.

1.9.2. Viaductos

Aquí hay que diferenciar entre el modo de transporte (carretera o ferroviario) o su tipología estructural (puentes isostáticos vs puentes hiperestáticos), para determinar la mayor o menor contribución de elementos prefabricados de hormigón.

En los últimos años se ha producido un notable incremento en el número de puentes prefabricados continuos construidos en las líneas de alta velocidad ferrovaria españolas. En su versión de doble cajón prefabricado con losa superior in situ, esta tipología responde muy bien a los condicionantes presentes en los viaductos para alta velocidad. Por este motivo, una vez que las empresas de prefabricación han desarrollado sistemas competitivos con otras tipologías, el número de realizaciones ha ido en aumento.

La solución típica de los viaductos prefabricados en hormigón pretensado que viene ejecutándose habitualmente en nuestro país consiste en un tablero constituido por dos vigas artesa o cajón prefabricadas de hormigón pretensado en taller, sobre las que se dispone la losa de hormigón que materializa la plataforma ferroviaria de 14 m.



1.9.3. Pasos elevados

Los pasos elevados podrían definirse como una sub-categoría de los viaductos, ya que tienen una función idéntica, pero con unas dimensiones significativamente inferiores. Se trata de una construcción muy habitual llevada a cabo en autovías y autopistas para facilitar el paso a ambos lados (circunvalaciones, carreteras o caminos cercanos, etc.). La necesidad de permitir el paso a ambos lados de forma ágil ha conllevado una mayor preponderancia de elementos prefabricados de hormigón en este uso (tablero, impostas, estribos, etc.)

Hay empresas que han desarrollado soluciones completas. Están formadas por unos hastiales de contrafuertes rectangulares que soportan el tablero, el cual puede estar constituido por una prelosa o vigas, llegando a luces de 12 - 15 m (mayores si el tablero está pretensado).

También nos encontramos habitualmente con los arcos o bóvedas en pequeños pasos, resueltos con uno o dos tramos que cumplen simultáneamente la función de soportar y transmitir las cargas superiores y habilitar el paso inferior.

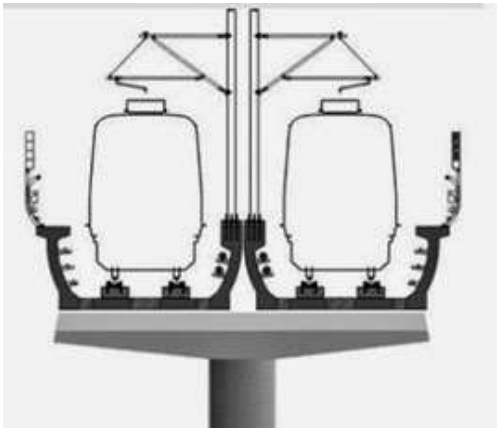
1.9.4. Estructuras de cubrición

Su misión es servir de elemento de cubrición de carreteras, vías férreas, etc. o para buscar una barrera visual con el entorno, configurando una estructura de dimensiones inferiores que en el caso de las estructuras de puentes. Las vigas de cubrición superior suelen ser conocidas como pérgolas.

Figura.- Estructura completamente prefabricada para paso de tren de alta velocidad en España: vigas en I superiores que apoyan sobre vigas cargadero y éstas a su vez sobre las pilas

1.9.5. Plataformas urbanas

De forma análoga, podríamos incluir aquí a las infraestructuras destinadas a crear la base de metros elevados o carreteras que se construyen dentro de zonas urbanas. Se trata de construcciones que miden normalmente varias decenas de kilómetros y el uso de elementos prefabricados de hormigón cumple eficazmente con los criterios de rapidez de ejecución, precisión dimensional o control de costes que se exigen a estas obras para afectar lo menos posible a la vida cotidiana de las ciudades. Se está utilizando de forma creciente en Latinoamérica: metro de Panamá, metro de Medellín (Colombia), autopista elevada de Puebla (México), etc. Salvo la cimentación y normalmente las pilas de la infraestructura, el tablero se conforma mediante elementos prefabricados de hormigón (vigas artesa o en U).



1.10. Algunas consideraciones de fabricación

Debemos hacer una distinción entre los elementos producidos en fábrica de los que se prefabrican en instalaciones provisionales que se suelen implantar a pie de la obra (para eliminar el transporte de las piezas, lo que evita seguramente una mayor cuota de prefabricación en los puentes de hormigón). En cualquier caso, si los elementos no son producidos en fábrica, las condiciones de producción deben garantizar el mismo nivel de control de calidad que en fábrica, además de estar protegido de las inclemencias meteorológicas como la lluvia o el viento.

Los elementos prefabricados para puentes se fabrican, en general, con un hormigón de mayor resistencia que el utilizado en las partes “in situ” del puente con la misma función resistente, por varias razones:

- Una mayor resistencia permite disminuir la sección necesaria y con ello el peso de la pieza y la magnitud de los medios de transporte y montaje necesarios para la construcción;

- El desmoldeo en edades tempranas, para la reutilización del molde y reducir el ciclo temporal de fabricación, requiere suficiente resistencia a esas edades tempranas, en especial en piezas pretensadas, lo que exige hormigones de alta resistencia.

En general, una mayor resistencia requiere una proporción mayor de cemento y una relación agua-cemento más reducida, lo que proporciona un hormigón con una mayor compacidad y durabilidad, con la consiguiente ventaja adicional en este sentido.

1.11. Algunas consideraciones de puesta en obra

La mayoría de los elementos que hemos ido describiendo son por lo general voluminosos y pesados, por lo que requerirá de medios de descarga en obra y elevación de gran capacidad. Los puntos más críticos residen en las uniones, especialmente cuando es entre distintos elementos prefabricados.

Resulta crucial seguir el orden de las fases constructivas y las edades de puesta en obra de los diferentes elementos definidos en el proyecto. Aunque quien se encarga normalmente de la ejecución es la propia empresa constructora del puente, la empresa suministradora de los elementos prefabricados debe hacer un seguimiento más intenso de la colocación de dichos elementos.

Figura.- Puente de La Baskonia en Basauri, estructura mixta con prelosas de hormigón armado. Piezas de esquina, en cuchillo y rectas componen este complicado puzzle que encaja a la perfección.

OBRAS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Ensanche de puente antiguo mediante marcos de hormigón

La Conselleria de infraestructuras y transporte de La Generalitat Valenciana ejecutó la mejora del trazado de la carretera CV-14 en el tramo entre Sorita del Maestrazgo y La Balma en la provincia de Castellón. Enmarcada dentro de la mejora de la carretera, una de las obras adjudicadas a la UTE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS, formada por las empresas CHM y OCIDE, consistió en el ensanche de un puente existente mediante la colocación de 6,50 metros lineales de marco prefabricado de hormigón.

Una de nuestras empresas asociadas fue la encargada de realizar el cálculo, fabricación y suministro de dichos marcos, considerando los condicionantes de cargas de la Instrucción sobre las acciones en puentes de carretera (IAP-11), de relleno sobre el marco (1,18 m) y las dimensiones interiores del mismo (8x5,1 m), el departamento técnico propuso el uso de un marco articulado prefabricado compuesto de dos semimarcos de medidas interiores de 8 m de ancho y 2,55 m de alto. Los espesores de paredes propuestos fueron 0,60 m en el dintel y la solera, y de 0,40 metros en los hastiales. Con una longitud de 1,30 m, cada semimarco tenía un peso de casi 24 Tn.

2. PASARELAS

Constituye una estructura cuya función es permitir el paso exclusivo de peatones o ciclistas y, por tanto, se ven sometidas a unas acciones de menor magnitud que los

puentes que soportan tráfico, por lo que el aspecto estructural es menos limitativo, pero la proximidad de los observadores obliga a cuidar más si cabe los aspectos estéticos y funcionales.

Como también se ha indicado, la mejora en los materiales (especialmente en los aditivos o el refuerzo con fibras) ha posibilitado que hoy se lleguen a fabricar hormigones con unas características resistentes tales que permiten cada vez más posicionar al hormigón prefabricado como un material muy a tener en cuenta para la resolución de este tipo de estructuras: secciones más livianas, eliminación del ataque por corrosión (hormigones armados con fibras).

Pero no solo nos limitamos a pasarelas ejecutadas con hormigones de muy altas prestaciones, donde debe encontrarse un balance económico muy preciso que justifique esta inversión en origen; también el hormigón de prestaciones más básicas se utiliza para realizar numerosas pasarelas.

Figura.- Vigas artesa, pilares circulares y paneles arquitectónicos en la ejecución de las pasarelas para ascensores en Algorta (Vizcaya), todos los elementos han sido fabricados con hormigón fotocatalítico de color blanco y absorberán la contaminación del entorno durante toda su vida útil

3. CARRETERAS

3.1. Sistemas de contención de vehículos

Los sistemas de contención prefabricados de hormigón son hoy ya uno de los elementos típicos que nos encontramos en los márgenes y medianas de la red viaria. Su creciente presencia es resultado del progresivo aumento de las exigencias reglamentarias, que obligan a garantizar una respuesta adecuada de los sistemas de contención en caso de impacto accidental de los vehículos, siendo los sistemas formados por elementos prefabricados de hormigón los que ofrecen una mejor respuesta dentro de todos los materiales en términos de seguridad (disipación de energía, fiabilidad, capacidad de redirección de los vehículos, etc.) además de otros aspectos como rapidez y control de ejecución que influyen en el coste global final de esta importante partida en los proyectos de carreteras.

3.1.1. Barreras de instalación definitiva

También conocidas como New Jersey por su procedencia, se trata de elementos que se colocan en los márgenes exteriores y medianas de las carreteras, proporcionando un cierto nivel de contención a un vehículo fuera de control y disminuyendo la severidad del accidente, mediante la absorción de una parte de la energía cinética del vehículo y la reconducción de su trayectoria.

Otra variante son las barreras diseñadas específicamente para colocarse en los márgenes de los túneles, donde por lo general existe una limitación de espacio en la parte posterior por lo que deben asegurar un menor desplazamiento en caso de colisión. También podemos hacer mención a las llamadas transiciones, barreras prefabricadas situadas en los extremos que se deben unir a otros sistemas de contención de diseño o material distintos.

3.1.2. Barreras de instalación temporal

Se trata de una barrera muy similar a la de instalación definitiva, pero a la que no se requiere que se superen los ensayos de impacto normalizados ya que se destinan a usos provisionales en tramos con una limitación de la velocidad (por ejemplo, zonas de obras). De esta forma el mecanismo de conexión suele ser mucho más sencillo (mediante machihembrado).

También se ha hecho muy popular este producto para delimitar zonas en las que se pretende evitar la invasión de determinados espacios (por ejemplo, aparcamientos, zonas peatonales).

3.1.3. Pretiles para puentes

Los pretiles son sistemas de contención de vehículos (funcionalmente análogos a las barreras) que se disponen específicamente sobre puentes, obras de paso y eventualmente sobre muros de sostenimiento del lado del desnivel, y que ya vimos anteriormente en el apartado de puentes.

Se trata de elementos a los que se requiere, por lo general, garantizar el máximo nivel de contención, ya que del comportamiento en caso de choque dependerá que el vehículo pueda caer al vacío con las consecuencias fatales para sus ocupantes si esto se produjese.

Figura.- Pretil con la cara exterior redondeada y con pasamanos metálico

3.1.4. Algunas consideraciones de diseño

Los fabricantes disponen de un catálogo de soluciones, que permiten adecuar cada uno de los modelos a las exigencias normativas que rijan cada tramo de carretera, definidas generalmente por el nivel de contención que depende de aspectos tales como la velocidad máxima de circulación permitida, la intensidad media de vehículos o el riesgo de accidente que se pretende minimizar. La clasificación del nivel de contención se suele realizar en laboratorios de ensayo, que disponen de una pista de ensayos en los que se realiza una simulación real del accidente, mediante el impacto controlado del vehículo contra el sistema de contención. Dichos niveles están normalizados y se clasifican por el tipo y masa del vehículo a emplear (normalmente uno ligero de en torno a 1 Tn y otro pesado desde 10 hasta 38 Tn), la velocidad y el ángulo del impacto.

Además, otro actor importante en caso de accidente son los motoristas. Por esta razón, también se está empezando a desarrollar sistemas específicos que mejoren la capacidad de respuesta de los sistemas minimizando los daños personales de éstos.

El comportamiento del sistema depende fundamentalmente de las características geométricas y mecánicas de los elementos individuales constitutivos pero fundamentalmente de la respuesta del conjunto. Las medidas habituales de los elementos van desde los 2 m (piezas generalmente destinadas a conformar tramos curvos) hasta los 6 m de longitud, alturas entre 0,8 y 1,2 m y anchuras en la base entre 50 y 70 cm, teniendo una sección simétrica en la mayoría de los casos. Se fabrican en hormigón armado. En los extremos de las barreras, se suele disponer de un mecanismo de conexión o acoplamiento (normalmente patentado) para que el sistema actúe de forma conjunta y no de forma separada.

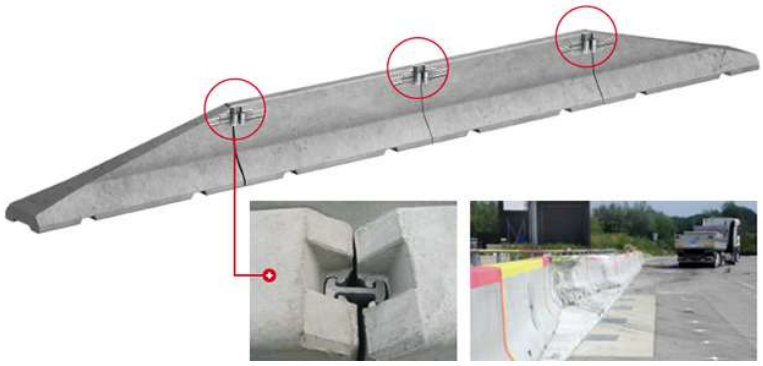
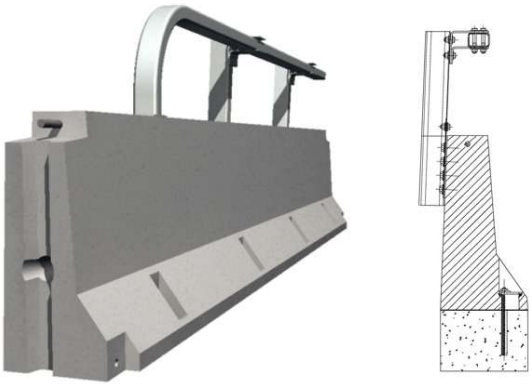


Figura.- El mecanismo de unión o acoplamiento entre barreras de este sistema es a través de la barra de tensión de acero, que proporciona una gran capacidad de tensión al sistema. La energía del impacto es distribuida entre varios de los elementos del sistema de seguridad

La compacidad y densidad del hormigón permite obtener una excelente respuesta en la colisión del vehículo pesado (camión o autobús); en el caso del vehículo ligero (turismo), la capacidad de respuesta depende de la flexibilidad conjunta que ofrezca el sistema, basada fundamentalmente en el mecanismo de conexión de las barreras (machihembrado, anclajes metálicos, etc.). Esto por ejemplo no es posible en los sistemas de hormigón ejecutados in situ, al no disponerse de estas uniones, por lo que el sistema en su conjunto acaba actuando como un muro en medio de la carretera.

En el proyecto estructural del puente en el caso de los pretiles, debe tenerse en consideración tanto el peso propio del pretil como las acciones que pueda éste transmitir al tablero en caso de choque. En el caso de impacto de un vehículo ligero, el pretil se comporta rígidamente y los esfuerzos producidos se absorben plenamente por el tablero sin deformación del anclaje. En el caso de un impacto más severo, el pretil no transmite todos los esfuerzos al tablero ya que parte se absorbe por la deformación del anclaje dúctil.

Los pretiles suelen disponer de una barandilla metálica superior cuya función consiste en evitar que los vehículos con centro de gravedad alto no vuelquen aumentando la altura efectiva del elemento, algo muy importante para la seguridad de vehículos como camiones de gran tonelaje o autocares.



En ocasiones, el pretil tiene un perfil exterior redondeado para mejorar su valor formal, por lo que también es conocido como pretil-imposta.

A estos elementos se les pueden añadir otros, como por ejemplo sistemas de iluminación a base de LED´s para facilitar los límites de la calzada o para la visualización de la dirección de evacuación en caso de siniestro en el interior del túnel; o también disponer de perforaciones en la cara superior para encajar otros elementos como vallas, barandillas o paneles acústicos.

3.1.5. Algunas consideraciones de puesta en obra

La colocación se hace normalmente de manera sencilla, aunque en ocasiones pueden llegar a disponerse en doble hilera para elevar la seguridad de la vía.

En el caso de las barreras, su colocación puede realizarse mediante apoyo directo de las mismas sobre la calzada, sin necesidad de fijación a la misma (gran velocidad de ejecución) limitándolo solamente a las barreras extremas (terminales).

Los pretiles no suelen disponer de margen lateral de desplazamiento por lo que deben quedar anclados al borde del tablero del puente. En caso de existir acera peatonal, el pretil deberá además servir de elemento separador entre la calzada y la propia acera.

3.1.6. Ventajas

Además de las ventajas que se han ido citando a lo largo de este apartado (sencillez de ejecución, gran nivel de contención, fiabilidad, etc.) podríamos añadir las inherentes al propio material (durabilidad del hormigón frente a los materiales metálicos cuyos daños por ataque de corrosión son mayores) o el nulo mantenimiento, la rápida reposición de las barreras en caso de haber sufrido un impacto.

3.2. Pantallas acústicas

Hemos incluido en esta categoría a las pantallas acústicas, también llamadas antirruido o fonoabsorbentes, ya que su uso más cotidiano es en zonas de alta generación de ruido, como por ejemplo, carreteras o líneas de ferrocarril que atraviesan zonas urbanas. La gran capacidad del hormigón a la transmisión del ruido aéreo y el hecho de que permiten definir una barrera visual entre las vías y las zonas residenciales, convierten a las pantallas prefabricadas de hormigón en una solución muy adecuada en estos casos.

Suelen constar de una placa matriz de hormigón estructural y otra de hormigón poroso de alta calidad absorbente. En ocasiones, esta capa de hormigón poroso está dispuesta en una sección especial acanalada, optimizando así la superficie de contacto; de esta forma, la onda sonora se introduce por los intersticios y se disipa en forma de calor por efecto del rozamiento.

Se pueden fabricar en diferentes medidas, texturas y colores, adaptándose a las necesidades paisajísticas de cada zona. En la parte inferior de los paneles, pueden disponerse de zócalos de hormigón con fines estéticos, pero sin propiedades acústicas.

Figura.- Margen de la carretera conformado por barreras y paneles acústicos prefabricados de hormigón

Las ventajas de los paneles acústicos de hormigón frente a otro tipo de elementos de materiales distintos son su mayor durabilidad, capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura y el nulo o prácticamente inexistente mantenimiento.

Otro caso puede ser que las pantallas acústicas sean de otro material pero que se anclen y sujeten inferiormente a zócalos prefabricados de hormigón.

3.3. Losas para pavimentación de calzadas

Se trata de un elemento prefabricado que ha adquirido gran auge, especialmente en Estados Unidos donde hay mucha más tradición en el empleo de hormigón en los firmes de carreteras. Se puede utilizar tanto en obra nueva como en reposición de calzadas existentes. El origen del mismo procede del mismo concepto que representan las prelosas empleadas en los tableros de los puentes.

Consiste en losas de hormigón armado o pretensado de dimensiones que se recomienda estén entre 200 y 250 mm de espesor, anchos en torno a 2 – 4 m y largos hasta 15 m.

Es una solución que compatibiliza todas las ventajas de la prefabricación:

- Durabilidad: este es el aspecto más destacado de todos pues implica un menor mantenimiento posterior, siendo uno de los grandes costes que tienen que asumir las administraciones o concesionarias de la red vial, para preservar en el tiempo unas condiciones aceptables del firme, además del perjuicio que esto provoca cuando se tienen que cortan algunos tramos por reparaciones (atascos, inseguridad, etc.);
- Se trata de elementos prefabricados y curados en planta, con una precisión dimensional no alcanzable en la construcción in situ;
- Velocidad de ejecución: por su facilidad de uso y porque la construcción no se ve alterada de la misma forma por las condiciones climáticas como otras soluciones, se obtienen grandes rendimientos que van en beneficio de la

economía de la obra, además de que permite abrir o reabrir la calzada al tráfico inmediatamente, evitando uno de los trastornos más habituales para los conductores. Su instalación puede llegar a concentrarse en las horas nocturnas para que el impacto ocasionado sobre los conductores sea el menor posible;

- Otro aspecto importante es que no se requiere apenas espacio en la obra para almacenar materiales o maquinaria, ya que el montaje puede realizarse directamente desde el camión que transporta las losas.

Otro aspecto interesante, en obras de reparación, es que las losas prefabricadas pueden emplearse de manera localizada para retener las dilataciones o contracción de los pavimentos preexistentes.

Esta solución, también ha sido utilizada recientemente para la construcción de pistas off-shore en aeropuertos.

3.4. Cunetas

Consiste en una zanja longitudinal abierta en el terreno junto a la calzada, con el fin de recibir y canalizar las aguas de lluvia, que se suele revestir con piezas prefabricadas, las cuales se cimentan sobre un lecho de asiento previamente preparado. La longitud mínima suele ser de 1 m y contar con una sección angular, rectangular o trapezoidal, todas ellas abiertas. Los materiales a emplear para sellar las juntas suelen ser morteros.

Dentro de las cunetas (o incluso como sistema de contención), podríamos añadir un tipo de elemento que puede alcanzar un enorme potencial. Se trata de los sistemas salvacunetas, dispositivos de seguridad formado normalmente por diferentes piezas de hormigón prefabricado y acero, las cuales están ensambladas para formar una cuña cuyo objetivo es evitar la posible colisión frontal de un vehículo facilitando la salida del vehículo accidentado por la rampa que conforma.

Figura.- Dispositivo de seguridad paso salvacunetas de una de nuestras empresas asociadas

4. PASOS SUBTERRÁNEOS

Integran este apartado varias tipologías de elementos utilizados asiduamente para pasos bajo terraplén con luces pequeñas o moderadas (L<20m) y que también se abordan en la Guía Técnica de Canalizaciones de ANDECE.

4.1. Marcos para formación de galerías

Se trata de elementos prefabricados de hormigón armado de sección transversal rectangular y proyectados como elementos continuos, con un detalle de junta formado para permitir la incorporación eventual de materiales estancos.

Los marcos se pueden utilizar para la creación de huecos por debajo del nivel del suelo cuya finalidad sea el transporte o el almacenamiento de materiales, por ejemplo, para el transporte y el almacenamiento de aguas residuales, galerías de cables y pasajes peatonales subterráneos.

Figura.- Obra de drenaje transversal

Se puede distinguir entre:

- Marcos monolíticos o monocelulares (de una sola pieza);
- Semimarcos o bicelulares: dos piezas que se ensamblan posteriormente en obra; También llamados articulados, abiertos, segmentados o en U, tienen el

punto de unión a mitad del hastial o en la parte superior. Este último caso se suele derivar cuando se trata de formar huecos de grandes dimensiones (> 3 m) y la gran voluminosidad y peso de los mismos hace difícilmente viable su transporte, pudiendo disponerse de forma conjunta para formar el hueco completo o de manera individual.

Los fabricantes suelen contar con una gama determinada de modelos de marcos que le permiten adaptarse para cada caso particular. Las dimensiones estándar van desde 1 hasta 6 – 7 m de ancho y/o alto, por unos 1 a 2,5 m de largo y espesor variable (25 – 30 cm aprox.) según las dimensiones y la carga que deban soportar. En el caso de los semimarcos, estas dimensiones podrían aumentar más todavía.

Como variantes nos podemos encontrar con los marcos en curva para salvar posibles desviaciones a lo largo de la traza a ejecutar. Estas piezas pueden fabricarse en una sola pieza, manteniéndose el mismo machihembrado y longitud exterior que los marcos tipo, o bien cortando el hormigón en fresco, dejando unas esperas de acero para su ajuste y terminación en la propia obra. Con objeto de permitir que la galería sea registrable, pueden disponer de una salida para acoplamientos de anillos o cono prefabricado.

Como el resto de estructuras subterráneas, el diseño estará condicionado fundamentalmente por el empuje de las tierras a contener, e incluso acciones dinámicas si los marcos están por debajo de algún paso superior (carretera, vía férrea).

El punto crítico en la ejecución está en la resolución de las uniones entre piezas consecutivas, habiendo juntas macho-hembra, totalmente planas o rótulas. Al ser elementos que pueden llegar a ser muy pesados, requerirán medios de elevación y montaje de gran capacidad.

Figura.- Semimarco colocado de manera individual

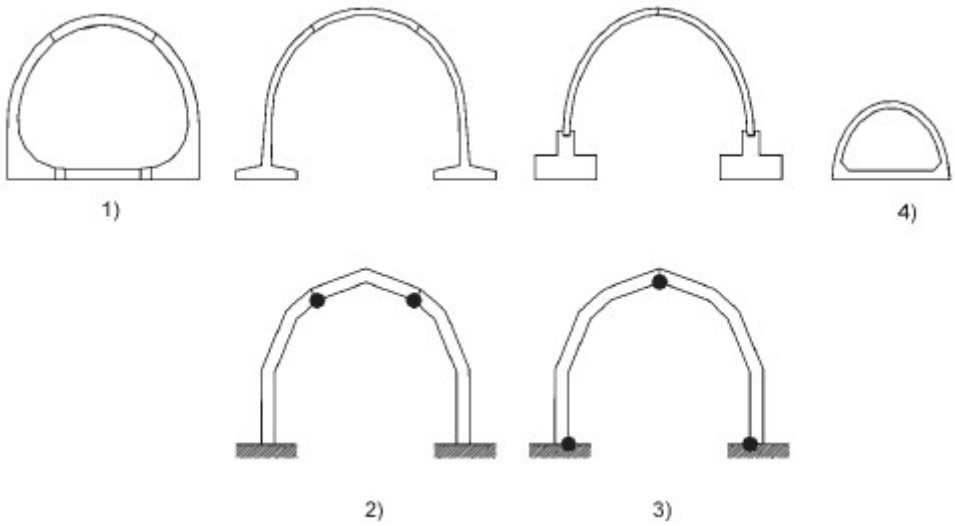
Si bien su disposición suele ser en horizontal, también es posible instalarlos de manera vertical para conformar espacios confinados bajo tierra.

4.2. Bóvedas

Las bóvedas se definen como estructuras de directriz curva o poligonal, que generalmente se realizan a los pasos inferiores bajo vías de circulación de carreteras o ferrocarriles.

Por su esquema funcional se pueden dividir en varios tipos:

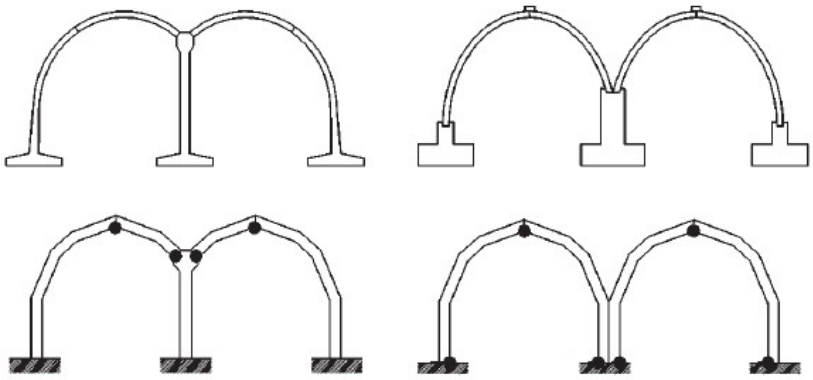
1) Una bóveda apoyada simplemente sobre dos hastiales conectados mediante una solera;
2) Una bóveda apoyada simplemente sobre dos hastiales apoyados sobre zapatas aisladas;
3) Estructura abovedada de dos elementos, denominada comúnmente triarticulada. La unión a la cimentación es una articulación simple, dicha cimentación puede ser solera o zapata;
4) Estructura abovedada de un elemento, que puede ser empotrada en cimentación o biarticulada.



Los distintos elementos son normalmente piezas de hormigón armado, bien en sección rectangular, bien en sección nervada. El aspecto desde el interior del paso es normalmente liso, aunque puede haber soluciones nervadas por la cara interior, en especial con gálibos y luces importantes (>10 m). En el caso de bóvedas de dos elementos, los puntos de apoyo de la misma se pueden elevar sobre unos muros de forma que se consiga un mayor gálibo.

Las estructuras abovedadas se pueden utilizar para muy diversas alturas de tierras, dependiendo de su tipología de uno, dos o tres elementos, y de su relación (H/L). A medida, que la relación aumenta mejor se comportará para grandes alturas de tierras, y peor para pequeñas alturas de tierras, y viceversa para relaciones pequeñas.

Se pueden conseguir pasos multiarcos compartiendo un mismo pie o muro por dos bóvedas.



4.3. Dovelas para túneles

Elemento prefabricado cuya función es formar el revestimiento estructural interior de túneles, ya sea para aplicaciones ferroviarias, carreteras, etc., e incluso otras soluciones soterradas para pasos de personas o animales. Se puede considerar una evolución tecnológica de las bóvedas.

Surgieron para dar solución a drenajes trasversales de carreteras, cubriciones de ríos o para dar paso a los caminos que interferían en las nuevas vías. El aumento de infraestructuras viarias y ferroviarias realizadas en los últimos años, la experiencia y al estudio de su comportamiento y, especialmente, la mejora en la capacidad de las máquinas tuneladoras (mayores diámetros para la excavación de túneles), ha provocado que se produzca un espectacular incremento en la utilización de estos elementos industrializados.

Su geometría habitual es la de una porción de arco con forma troncocónica que se atornilla con las dovelas contiguas, a fin de formar un anillo total (apoyo directo sobre la calzada o en la cimentación).

Como ventajas, las propias de la prefabricación: gran capacidad resistente (para soportar las cargas del relleno), durabilidad, escaso mantenimiento y rapidez de ejecución.

La complejidad de la realización de los túneles, motiva que desde un punto de vista técnico y económico, deba llevarse a cabo un diseño ajustado tanto del espesor de la dovela como de sus armaduras. En la mayoría de los casos, el proyectista sólo conoce el diámetro interior del túnel (que viene determinado por motivos funcionales), por lo que debe fijar en primer lugar el espesor (las relaciones más habituales entre el diámetro del túnel y el espesor están entre 16 y 32), estando habitualmente comprendidos entre 20 y 60 cm. El dimensionamiento de estos elementos dependerá de las condiciones geométricas del túnel, lo que obliga a que apenas pueda haber una gran repetitividad de dovelas en fabricación.

En todos los anillos se suele diseñar una dovela de menor tamaño, denominada clave o llave, que es la última pieza a colocar durante la construcción, generalmente la pieza superior.

Asimismo, el proyectista debe considerar todas las acciones a las que van a estar expuestas las dovelas: manipulación, montaje, acciones del terreno, interacción entre las juntas, fisuración, incendio, etc.

Figura.- Dovelas para Alaskan Way Viaduct en Estado Unidos

OBRAS CON ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Dovelas para el túnel de la red de cercanías de Barcelona

El objetivo fundamental de este proyecto era dotar al Aeropuerto de Barcelona de una comunicación ferroviaria, con parada en ambas Terminales, de forma que queden conectadas entre sí y con la red de cercanías de Barcelona. La solución proyectada consiste en una doble vía que comienza a la salida de la nueva Estación Intermodal de El Prat, y finaliza en la nueva Terminal Sur (T1) del Aeropuerto de Barcelona, con una longitud total de 4.495 m, de los cuales 3.385 m estarán soterrados. El revestimiento del túnel está formado por dovelas de hormigón prefabricado. Estas dovelas son de 1,6 m de longitud y 32 cm de espesor, que conforman un anillo de tipo universal de 7 piezas con diámetro interior de 9,60 m. La Revista OBRAS URBANAS publicó un interesante artículo que describe la fabricación de las dovelas de hormigón prefabricado del revestimiento del túnel, realizada por otra de nuestras empresas asociadas en sus instalaciones de Balaguer (Lleida). El revestimiento del túnel está formado por unos 1.950 anillos.

Artículo completo en la web de ANDECE [+]

4.4. Pórticos para pasos subterráneos

Cuando se requieran medidas mayores, se puede conformar una estructura con distintos elementos prefabricados, como por ejemplo:

- Solado inferior (prefabricado o in situ);
- Dintel superior: pueden ser armados o pretensados, rectangulares o nervados;

- Hastiales verticales laterales: son normalmente piezas de hormigón armado, bien en sección rectangular, bien en sección nervada. El aspecto desde el interior del paso es normalmente liso, aunque puede haber soluciones en las que los contrafuertes sean vistos por la cara interior;
- Aletas en las esquinas.

Se usa normalmente para luces mayores que los marcos a partir de 4 m hasta los 10 m en soluciones armadas y 20 m en soluciones pretensadas, con alturas de tierras comprendidas entre 1 y 8 m encima de la parte superior del dintel. El proceso de ejecución suele ser el siguiente:

1) Hastiales y unión a cimentación;
2) Montaje de dintel y unión con hastiales;
3) Relleno de tierras por tongadas simétricas.

5. VÍAS FERROVIARIAS

Existen dos tipologías fundamentales de elementos prefabricados de hormigón según el sistema de vía: traviesas (vía con balasto) y vía en placa (vía sin balasto).

5.1. Traviesas

5.1.1. Descripción

Las traviesas prefabricadas de hormigón, también denominadas durmientes en muchos países de Latinoamérica, son un tipo de traviesas que aparecen ante la necesidad de buscar elementos más baratos y abundantes que la madera. Aparecen por primera vez en la Primera Guerra Mundial. Tras muchos intentos y pruebas comienza a consolidarse en el mercado ferroviario a partir de los años 50, cuando se empieza también a constatar su superioridad técnica.

Su misión principal es servir de soporte a los raíles y transmitir las cargas al balasto de la vía, constituyéndose actualmente como la solución más empleada en líneas de ferrocarril convencionales, alta velocidad (campo cada vez más interesante en todo el mundo por los miles de kilómetros que hay en proyecto o ejecución) e incluso en líneas de metro urbano.

Cada administración ferroviaria dispone de uno o varios modelos caracterizados fundamentalmente por su geometría y tolerancias, momentos característicos en secciones críticas y valores de los momentos de ensayo para los ensayos de homologación. Cada fabricante dispone de una tecnología propia de diseño y fabricación para cumplir los requisitos de la administración ferroviaria.

Hay que destacar que son elementos muy normalizados; a destacar, la norma Europea EN 13230 y su traslación española ET033605718b.

Se trata de un elemento totalmente industrializado, por lo que de fábrica ya debe salir terminado y con el resto de elementos necesarios incorporados, tales como los sistemas de sujeción con la vía o incluso suelas elásticas para mejorar el apoyo. Por otra parte este pre-montaje es necesario para asegurar la precisión geométrica final.

Además de la precisión geométrica y prestaciones mecánicas (resistencia a fatiga), el peso y superficie de apoyo son importantes por razones de estabilidad y degradación del balasto.

5.1.2. Tipologías

Podemos distinguirlas entre las traviesas bibloque de hormigón armado que constan de dos piezas de hormigón unidas por una barra de hierro, y las traviesas monobloque de hormigón pretensado, siendo estas últimas las más utilizadas.

A su vez, podemos encontrarnos con traviesas polivalentes que permiten el desplazamiento de los carriles para adaptarse a dos anchos de vía (caso de países en que confluyan medidas entre carriles diferentes, como sucede por ejemplo entre España y los países limítrofes), mediante el cambio simultáneo de las fijaciones hacia dentro o hacia afuera. Y traviesas de tres hilos, que también se adaptan a dos anchos de vía, pero teniendo una línea de fijación inmóvil y otra formada por dos posiciones desplazadas más de 200 mm que permiten la utilización simultánea en ambos anchos. Ambos modelos han sido desarrollados originalmente en España

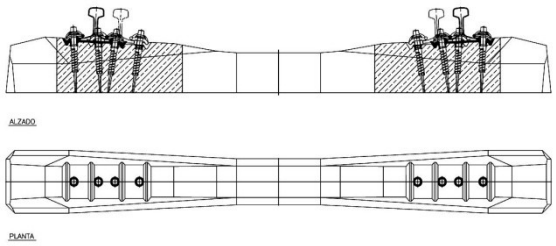


Figura.- Trazado esquemático de las traviesas polivalentes. ADIF

Otros modelos específicos son:

- Las traviesas de desvío, que se utilizan en enlaces entre vías o tramos especiales;
- Traviesas con suela elástica, empleadas para el reforzamiento de la construcción de vías sobre balasto; adecuadas especialmente para terrenos desiguales difíciles, como transiciones sensibles de la traza entre las obras de tierra y los túneles, o puentes.

5.1.3. Ventajas

Sus mayores ventajas resultan probablemente de que nos referimos a uno de los elementos prefabricados de hormigón que se fabrican bajo un sistema de aseguramiento de la calidad más elevado, especialmente por la necesidad de emplear materias primas de altas prestaciones, un control minucioso en la fase de producción y la obligación de llevar a cabo ensayos mecánicos sobre el producto terminado.

El control dimensional implica una gran precisión geométrica de las piezas. La precisión exigida (+2mm, -1mm) sobre una base de 1.700 mm es la más alta sobre ningún elemento de hormigón estructural, pensando sobre todo en la variación dimensional a lo largo del tiempo por fluencia y retracción.

Son elementos que aseguran una durabilidad elevada, para los esfuerzos mecánicos y condiciones ambientales adversas a las que estarán expuestos durante su vida útil. Esto obliga a materiales y procesos de curado exigentes.

Además, son elementos de escaso mantenimiento (conserva prácticamente inalterables sus características resistentes iniciales) y su colocación se hace de forma mecanizada (grandes rendimientos de ejecución).

Por el contrario, su alto peso (en torno a 300 kg) hace que su manejo, a no ser por medios mecánicos, sea más difícil, aunque esto ayuda a mejorar la estabilidad de la vía adhiriéndose mejor al balasto.

5.2. La vía en placa

5.2.1. Descripción

Consiste en una placa de hormigón armado o pretensado que se colocan de manera continua, eliminando la necesidad del balasto y que transmite a la plataforma tensiones uniformemente distribuidas y más pequeñas. Existen varios sistemas con distintos grados de prefabricación.

Hay países como Japón y Alemania en que ésta es la solución predominante en alta velocidad mientras en otros como Francia, España o Italia, la solución en alta velocidad es balasto y traviesas, complementada por tramos de vía en placa en túneles y en menor medida en puentes y zonas de transición.

Figura.- Vía en placa desarrollada por AFTRAV

La construcción de las líneas de alta velocidad ferroviaria en el tramo Medina-La Meca en Arabia Saudí, se ha encontrado con un grave problema en la ejecución: las tormentas de arena. Por este motivo, en algunas zonas se ha optado por tender la vía sobre placas de hormigón. Se trata de una solución más cara que la de vía sobre balasto, pero garantiza una alta calidad y un mantenimiento más sencillo y económico, ya que a diferencia de aquél sólo habrá que barrer la arena depositada sobre las placas.

5.2.2. Ventajas y limitaciones

Como ventajas fundamentales están el menor mantenimiento (por bateo, por renovación o limpieza del balasto), la ausencia del vuelo de balasto en velocidades muy altas y reducción de la profundidad necesaria para la construcción del sistema.

Por el contrario, este sistema requiere una mayor inversión inicial y necesita un diseño y ejecución específicos de la plataforma inferior de apoyo, limitando las alturas de los terraplenes y exigiendo mayores longitudes de túneles y viaductos.

Además, en caso de que se produzcan daños durante la fase de servicio, la reparación resultará más compleja y costosa.

5.3. Elementos auxiliares

Nos referimos fundamentalmente a los sistemas realizados con componentes prefabricados de hormigón destinados a alojar el cableado eléctrico los sistemas de señalización, seguridad y regulación del tráfico en la red ferroviaria. Puede estar compuesto por arquetas, canaletas, tapas, etc. Se trata generalmente de elementos estandarizados, que cuentan además con la homologación de las autoridades ferroviarias.

Figura.- Arqueta tipo de una de nuestras empresas asociadas

Ya vimos también que otros elementos prefabricados susceptibles de ser utilizados en las instalaciones ferroviarias son los muros, piezas de borde y las losas que constituyen los andenes o zonas de tránsito de las personas, así como los paneles acústicos por ser zonas de alta generación de ruido.

6. CONTENCIÓN DE EMPUJES

6.1. Generalidades

La contención de empujes del terreno se satisface de forma idónea con sistemas basados en elementos prefabricados de hormigón, al conjugar de forma idónea algunas de las características que ofrece la prefabricación, como son la rapidez de ejecución, la capacidad mecánica del propio hormigón para soportar los esfuerzos o la durabilidad y el escaso o nulo mantenimiento que impondrán estos sistemas durante su fase de servicio.

Hablamos de elementos prefabricados de hormigón cuyo uso previsto es como muros de contención de excavaciones de tierra natural y zanjas; rellenos de tierra para carreteras o plataformas; estribos de puentes (ya vistos anteriormente) y sus muros laterales; o de otros materiales sueltos como arena, grava, etc. Aunque también podemos referirnos a los sistemas utilizados en el soterramiento del edificio (muros de sótano), cumpliendo la función simultánea de contención del terreno adyacente y la configuración de plantas subterráneas.

También debemos añadir en esta categoría, a los muros de contención conformados por bloques de hormigón, descritos en la Guía Técnica de Bloques y Ladrillos de Hormigón.

Otra posibilidad la ofrecen las placas alveolares, producto concebido y utilizado principalmente como elemento de forjado, pero que también puede encontrar un hueco en este ámbito al presentarse como un sistema aligerado y que ofrece una buena respuesta a la flexión gracias al pretensado.

6.2. Muros prefabricados empotrados

También conocidos como muros ménsula, es el formado por un elemento plano o nervado, continuo ó discontinuo, prefabricado de hormigón armado, pretensado o postesado y empotrado en su base (normalmente la zapata). Estos muros prefabricados trabajan en voladizo. Este tipo de muro puede considerarse activo, es decir, entra en carga cuando se le aplica el material de relleno.

Sus dos funciones principales son el sostenimiento y contención de tierras. La construcción de la zapata requiere una excavación previa, lo que impide a este muro tener una función de revestimiento.

6.2.1. Muro de pantalla prefabricada y zapata in situ

Muros de elementos modulares prefabricados de hormigón, de secciones nervadas, colocadas de forma continua, adosados unos a otros, que empotrados en una zapata realizada "in situ", constituyen el paramento exterior del muro.

6.2.2. Muro de pantalla prefabricada con tirante y zapata in situ

Otra tipología de alzado prefabricado que puede ser reemplazable por la sección en T sería la utilización de unos tirantes prefabricados anclados simultáneamente al tablero y a la cimentación. Con ello se consigue reducir esfuerzos de flexión principal en el alzado, aunque tiene como contrapartida la ejecución más laboriosa y fundamentalmente la ejecución y durabilidad del nudo entre alzado y tirante.

6.2.3. Muro completamente prefabricado

Muros en donde el panel y la zapata se han prefabricado conjuntamente formando un solo elemento. Se componen de los siguientes elementos:

Figura.- Muro en L de una de nuestras empresas asociadas. Acabado exterior simulando la piedra natural

6.2.4. Muro de lamas

Muros formados por placas transversales prefabricadas, o lamas, situadas entre unos contrafuertes verticales empotrados a la zapata hecha "in situ". Este tipo de muros llevan una cobertura vegetal, por lo que también se denominan “muros vegetalizados” o “muros ecológicos”. Se denominan así ya que además de servir de muro de contención, permite el cultivo de flores y plantas, actuando como barrera acústica y eliminando en gran parte el impacto ambiental de las carreteras, ferrocarriles, urbanizaciones, etc., al quedar totalmente integrados en el paisaje.

6.2.5. Muros de pantalla aligerados

Uso de las placas alveolares pretensadas como sistema de contención, pero dispuestas verticalmente y empotradas en la cimentación. Los huecos que conforman los alveolos pueden llegar a rellenarse con hormigón de obra si así se especifica en el diseño. La máxima altura que se puede llegar alcanzar con este tipo de muro oscila los 7 m.

El drenaje habitual en este tipo de muro se realiza a través de las juntas situadas entre pantallas consecutivas, existiendo normalmente, unas piezas de plástico ranuradas que permiten el drenaje del muro impidiendo la salida de finos del trasdós. Este también se puede realizar con la ayuda de unos tubos de drenaje, situados en el pie del trasdós a lo largo de todo el muro.

No obstante, se trata de una solución más habitual en el caso de edificación (muros de sótanos) que en obra civil.

6.3. Muros prefabricados de gravedad

Es aquel formado por elementos prefabricados que resulta estable por su propio peso, sin que existan esfuerzos de compresión en alguno de sus elementos.

Los muros de gravedad construidos mediante unidades prefabricadas pueden ser de módulos huecos o de bloques macizos. Sus funciones van a ser tanto de recubrimiento como de sostenimiento o contención de tierras.

La anchura de la solera de base es variable, dependiendo de la altura de muro y de las condiciones de terreno.

6.3.1. Muros dobles

Sistema constructivo basado en dos láminas exteriores de hormigón armado de 5-7 cm de espesor, que se encuentran unidas mediante un armado en celosía que mantiene la separación entre ellas y sirven de encofrado para el hormigón a verter “in situ”. Dichas láminas cuentan con un mallazo embebido. El espesor resultante de la placa final oscila entre 25 y 50 cm, por lo que es una opción recomendada cuando hay unas cargas de empuje significativas. La altura usual de la lámina va desde 1 hasta 8 m y longitud variable hasta 10 m.

Es un sistema de junta húmeda, puesto que la unión entre los diferentes elementos que lo integran es continua. Permite combinarse con otros sistemas constructivos tradicionales y no tradicionales, como forjados unidireccionales o reticulares, de

viguetas prefabricadas, placas alveolares, etc. Sobre los muros pueden apoyarse pilares de hormigón, pilares metálicos u otros tipos de estructura.

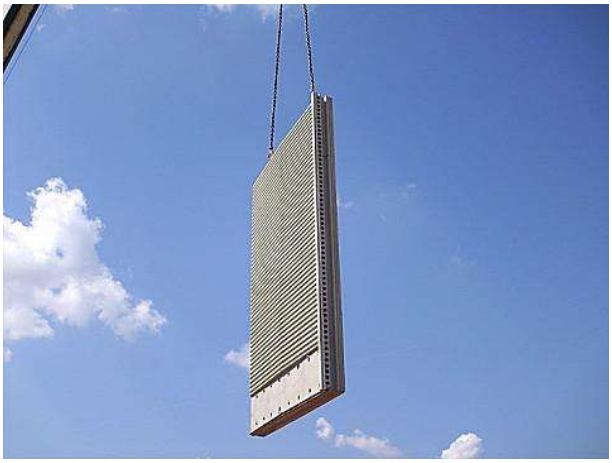
Se trata de una solución muy interesante pues, entre otras ventajas, elimina los encofrados, reduce la colocación de armaduras en obra y evita la sobre-excavación en el trasdós del muro (ejecución más rápida).

Su aplicación fundamental es como elemento de contención de tierras (muro de sótano, muro en ménsula, muro para piscinas, etc.) donde recibe las cargas del empuje de tierras y de la estructura del edificio en el caso que ésta se apoye sobre el muro. Pero también puede emplearse como muro portante (muro de fachada, de ascensor, interiores, etc.) que conforman la estructura vertical del edificio y reciben las cargas gravitatorias, de viento y sismo.

Pueden utilizarse trasdosados o sin trasdosar dependiendo de la ubicación y el uso que se le de al muro.

6.3.2. Muros macizos

Se trata de paneles sencillos macizos de hormigón armado, sin contrafuertes y con esperas en el trasdós preparadas para enlazar con el resto de la armadura de la cimentación, muy útil para contención en tramos largos y bajos. Es la configuración más habitual, con alturas máximas de 5-6 m.



6.3.3. Muro modular ajardinable

Tipo de muro cuya configuración es muy similar a la que acabamos de ver con los muros de lamas. Está formado por piezas prefabricadas huecas que se van encajando unas con otras rellenando posteriormente su interior con tierra, y permitiendo así el cultivo de vegetación que reducirá el impacto visual. Se trata de una solución más agradable estéticamente que la de muros de hormigón totalmente macizos.

6.3.4. Muros de bloques

Son muros de bloques macizos de hormigón encajados entre sí. Estos muros estructuralmente pueden ser macizos o abiertos. Los últimos dejan huecos libres, para normalmente permitir el crecimiento de vegetación. Esto supone una limitación para la altura que puede alcanzar el muro;

Figura.- Muro de bloques abiertos

Figura.- Ejemplo de muro de contención segmentado en el que puede apreciarse la pendiente. La forma de las piezas y su aparejo genera un plano de fachada con una determinada pendiente

6.3.5. Muros de escamas prefabricadas de hormigón

Ya fueron tratados en el apartado de puentes. Se le define como el muro cuyo paramento exterior está constituido por escamas prefabricadas de hormigón, que encajonadas unas con otras, forman una superficie vertical y continua, que va unida a las armaduras de refuerzo.

Cada escama del muro se comporta individualmente, siendo capaz de moverse ligeramente sin que se produzcan tensiones en las juntas de las escamas adyacentes, de tal forma que esta tipología permita adaptarse a los pequeños asentamientos del terreno.

Actualmente se están utilizando nuevos tipos de materiales de refuerzo mucho más fáciles de manejar que las tradicionales tiras de acero. Éstos son normalmente geotextiles, y tienen propiedades resistentes contra la corrosión y son fáciles de transportar debido a su menor volumen y peso.

Los componentes principales del muro son;

- Paramentos o escamas: el paramento exterior consiste en una repetición de un mismo diseño a lo largo de todo el muro;
- Armaduras: bandas de acero galvanizado con sección y longitud variable según se determine en cada situación. Estas pueden ser lisas o con pequeños resaltes. Van unidas al paramento mediante la utilización de tornillos;
- Relleno: cuanto mayor sea el ángulo de rozamiento terreno-armadura mayor es el efecto de refuerzo para una densidad de armado dada. Esta es la causa por la que se utiliza relleno granular.

El drenaje es muy importante para evitar los empujes de agua que no se hayan considerado en cálculo del muro. Éste se realiza a través de las uniones, horizontales y/o verticales, existentes entre las piezas que forman el paramento. En estas uniones existen unas juntas, que pueden ser de diferentes materiales (poliuretano, etc.), que evitan la perdida de finos del trasdós. Del mismo modo, se evita manchar la cara vista del muro.

6.4. Algunas consideraciones de diseño

En el caso de los elementos superficiales de contención (exceptuamos los bloques por tener un diseño particular), el mecanismo resistente se consigue solidarizando todos los paneles para que actúen de forma conjunta, soportando los esfuerzos de flexocompresión de los terrenos adyacentes y puedan transmitirlo adecuadamente al suelo a través de la cimentación.

Generalmente, los paneles se fabrican bajo pedido adaptándose la geometría a las solicitaciones de la obra. La elección del tipo de molde y las armaduras dependen en cada caso de los esfuerzos a los que va a estar sometido el panel en servicio.

Respondiendo a las exigencias del mercado y con el fin de satisfacer las necesidades estéticas de cada caso, se pueden añadir diferentes acabados exteriores que mejoren la integración en el entorno de estos elementos: texturizados, pintados, acabado en piedra, árido visto, etc. pudiendo llegar a simular las mismas terminaciones que los paneles de hormigón arquitectónico destinados a edificación.

6.5. Algunas consideraciones de puesta en obra

El punto más delicado está en las juntas entre paneles, por lo que debe cuidarse la realización del sellado para evitar la salida de finos desde el terreno del trasdós.

Respecto a los muros sobre zapata in situ, normalmente se monta la pieza sobre un hormigón de limpieza, siendo posteriormente ferrallada y hormigonada la zapata.

6.6. Otras aplicaciones

Estos elementos también son ideales para otras aplicaciones pudiendo ser empleados para configurar silos, depósitos o cualquier otra disposición para el almacenamiento de diversos tipos de materiales (granulados, líquidos, residuos, etc.) o para conformar cauces de ríos o canales.

7. MÁSTILES Y POSTES

7.1. Soportes de líneas eléctricas aéreas, telecomunicaciones y otros elementos

Nos referimos a las estructuras prefabricadas verticales cuya función principal es servir de soporte para otros elementos. Pueden estar fabricados bien de una pieza o compuestos de varios elementos, ser de hormigón armado y/o pretensado, vibrados huecos o macizos.

Se trata de uno de los elementos prefabricados más clásicos en zonas rurales, ferrocarriles, tranvías, etc. actuando como soporte y guía del tendido eléctrico de baja y media tensión. Normalmente hechos de hormigón armado, pueden alcanzar alturas máximas aproximadas de 15 – 17 m y pesos hasta 7 Tn. De sección rectangular variable, en muchas ocasiones su perfil va disminuyendo desde la base hasta la coronación. Su dimensionamiento, así como la del tipo de cimentación, se hace en base a los esfuerzos que tiene que trasmitir a su base (cargas del cableado y acción del viento), que se resuelve habitualmente mediante un empotramiento o apoyándolo en una placa de anclaje.

Normalmente los fabricantes cuentan con una gama de modelos homologados por las distintas compañías eléctricas y de telecomunicaciones del país donde se comercializan.

Otros postes sirven como soporte de iluminación (farolas), instalaciones de megafonía, antenas, etc.

El poste de hormigón armado vibrado trabaja, fundamentalmente, como una viga sometida a un esfuerzo de flexión. Debido a su geometría no tiene la misma resistencia en las dos "caras". Se define como dirección principal la de máxima resistencia que se corresponde con el esfuerzo nominal indicado en su placa de características y que actúa perpendicularmente a la cara estrecha del poste. Esta dirección debe coincidir, al colocar el poste en la línea, con la dirección de la "resultante" de los esfuerzos que actúan sobre el apoyo.

Suelen incluir con el poste la escalera de subida, la caja de toma a tierra, la plataforma de trabajo, la línea de vida (para seguridad de los operarios que asciendan en el poste), los herrajes para la colocación de antenas, etc.

7.2. Soportes para aerogeneradores

En los últimos años se ha registrado un importante crecimiento del tamaño de los aerogeneradores, motivado principalmente por un aumento de su capacidad de generación eléctrica. La demanda generada por las limitaciones tecnológicas de las torres metálicas, material principal con el que se conforma el soporte o fuste de la turbina, ha dado lugar a la búsqueda de materiales alternativos.

En este sentido, la solución prefabricada de hormigón comienza a ser competitiva, especialmente a partir de grandes alturas (80-100 m), ya que además aseguran una combinación óptima en el cumplimiento de las prestaciones requeridas para este tipo de estructuras: rapidez de ejecución, solicitaciones de fatiga (mayor exigencia estructural), requerimientos específicos en cuanto al comportamiento dinámico y las vibraciones, calidad visual y de acabados, exigencias de integración visual en el paisaje, etc. además que ayuda a elevar al aerogenerador bastantes metros más, donde la potencia del viento es superior, por lo que aumenta su eficiencia.

Otros aspectos a destacar frente a las soluciones metálicas son los mayores diámetros de sección (permiten alojar mayores equipos), la seguridad adicional que ofrece el hormigón frente al impacto de un rayo o la mayor durabilidad, especialmente en ambientes agresivos (ejemplo, aerogeneradores marinos en parques *offshore*) que implicarán una mayor vida útil (50 años frente a 20 aprox.) y un menor mantenimiento.

Podemos encontrarnos con soportes completamente en hormigón prefabricado, o híbridos (parte en prefabricado de hormigón y parte en metal).

Los elementos prefabricados, resultantes de dividir un tronco de cono mediante cortes verticales y horizontales, están compuestos por una lámina delgada de hormigón armado (llamados dovela, segmento o gajo), nervada en dos direcciones. Los nervios sirven para, además de rigidizar la lámina, albergar los tendones de postesado que permiten mediante compresión de las juntas, unir monolíticamente las piezas. El espesor aproximado ronda los 20 -25 cm, lo cual conduce a un reducido consumo de materiales y de peso, facilitando el transporte y montaje.

Las dovelas que conformarán cada anillo pueden llegar a ensamblarse en el suelo, cubriendo varios tramos hasta llegar a la altura definitiva. El sistema en su conjunto tiene una mayor estabilidad estructural (menos vibraciones, mayor base de apoyo), lo que reducirá la cimentación a ejecutar.

Debido al gran volumen de estos elementos, hay empresas que cuentan con plantas móviles que fabrican a pie de obra los elementos, de forma que pueden incluso adaptarse a ciertos requerimientos funcionales (dimensiones variables en función de la magnitud del parque, planificación para la instalación de las torres, etc.)

Otra opción adicional es que incluso la cimentación del aerogenerador sea prefabricada de hormigón, teniendo una solución totalmente industrializada.

8. REGLAMENTACIÓN

El técnico proyectista debe conocer el marco reglamentario de aplicación establecido en el lugar donde se vaya a llevar a cabo la obra.

8.1. A nivel de elementos

La gran mayoría de elementos prefabricados de hormigón destinados a la obra civil, están sujetos a disponer de marcado CE obligatorio. ANDECE ostenta la secretaría del comité nacional de prefabricados de hormigón UNE-CTN 127 y es a su vez representante del Comité Europeo de normalización CEN/TC 229, que son los foros donde se desarrollan la mayoría de las normas de productos que afectan a los elementos prefabricados de hormigón. Para conocer más sobre el marcado CE, ANDECE ha desarrollado una serie de guías de aplicación donde se detallan los aspectos que debe tener en cuenta el fabricante, así como el resto de los agentes que gestionen elementos prefabricados de hormigón (proyecto, construcción, mantenimiento, etc.):

- UNE-EN 15050 Productos prefabricados de hormigón. Elementos para puentes
- UNE-EN 1317-5 Sistemas de contención para carreteras. Ej.: Barreras de seguridad y pretiles prefabricados
- UNE-EN 14844 Productos prefabricados de hormigón. Marcos
- UNE-EN 12843 Productos prefabricados de hormigón. Mástiles y Postes
- UNE-EN 15258 Productos prefabricados de hormigón. Elementos de muros de contención

Uno de los aspectos que aún hoy suscita más dudas es el relativo a la documentación reglamentaria que debe acompañar a los productos con marcado CE. Para sintetizar esta información, ANDECE ha desarrollado la siguiente ficha de control documental, de la que se extraen los principales documentos para que todos los agentes conozcan qué documentación debe proporcionar el suministrador de elementos prefabricados de hormigón [+].

8.2. A nivel de estructura

Cabe destacar aquí que, hasta hace poco tiempo, los códigos de estructuras apenas habían definido aspectos específicos para los elementos prefabricados de hormigón, quedando aislados y dispersos a lo largo de estos y otros documentos, algo que sin duda limita o ha limitado una mayor prescripción de estas soluciones frente a las convencionales de hormigón in situ. Es el caso del Código Estructural y anteriormente la Instrucción EHE-08 que, hasta la versión de 2008, los elementos prefabricados de hormigón no habían tenido un tratamiento particular.

- Coeficientes de seguridad de los materiales (Art. 15): los valores de cálculo de las propiedades del hormigón y del acero se obtienen a partir de los valores característicos divididos por un coeficiente parcial de seguridad. Se establecen tres parejas de coeficientes:

<table>
<tr><td colspan="2"></td><td>Hormigón</td><td>Acero</td></tr>
<tr><td colspan="2">Control del hormigón según la norma europea EN 206-1</td><td>1,70</td><td>1,15</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Control del hormigón según el Código Estructural (↑ exigente)</td><td>Situación persistente</td><td>1,50</td><td>1,15</td></tr>
<tr><td>Situación transitoria</td><td>1,30</td><td>1,00</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Elementos certificados con un distintivo de calidad oficialmente reconocido + control de la ejecución intenso (↑↑ exigente)</td><td>1,40
(in situ)</td><td rowspan="2">1,10</td></tr>
<tr><td>1,35
(Prefabricados)</td></tr>
</table>

- La resistencia de proyecto no será inferior a 25 MPa tanto en hormigones armados como en pretensados. Asimismo, la formulación empleada en el Código Estructural cubre a elementos de hormigón de hasta 100 MPa, lo que no impide que se puedan emplear hormigones de mayor resistencia, pero siempre bajo la responsabilidad del proyectista;
- Durabilidad (Art. 43): adopción de un espesor de recubrimiento adecuado para la protección de las armaduras, según la fórmula $r_{nom}= r_{mín}+\Delta r$, donde $r_{mín}$ se determina a partir de la clase de ambiente y el tipo de hormigón y Δr es el margen de recubrimiento, cuyo valor es nulo en el caso de elementos prefabricados con control intenso (todos los elementos prefabricados de

hormigón estructurales con marcado CE, es decir, prácticamente todos), y 5 mm en el caso de ejecución in situ;

- Cálculo: dado el carácter evolutivo de su construcción, deben considerarse, tanto en el análisis de esfuerzos como en las comprobaciones de Estados Límite: (1) las situaciones transitorias, (2) los apoyos provisionales y definitivos y (3) las conexiones entre distintas piezas. En el análisis deberá considerarse:

    - La evolución de la geometría, las condiciones de apoyo de cada pieza y las propiedades de los materiales en cada etapa y la interacción de cada pieza con otros elementos;
    - La influencia en el sistema estructural del comportamiento entre conexiones de los elementos, y en especial su resistencia y deformación;
    - Las incertidumbres en las condiciones de transmisión de esfuerzos entre elementos debidas a las imperfecciones geométricas en las piezas, en su posicionamiento y en sus apoyos.

  También se abordan la conexión y apoyo de elementos prefabricados, en aspectos como los materiales, el diseño de conexiones (conexiones a compresión, a cortante, a flexión y a tracción, juntas a media madera), anclaje de las armaduras en los apoyos, u otras consideraciones para el apoyo de piezas prefabricadas.

- Uniones (Art. 54): las uniones entre las distintas piezas prefabricadas que constituyen una estructura, o entre dichas piezas y los otros elementos estructurales construidos in situ, deberán asegurar la correcta transmisión de los esfuerzos entre cada pieza y las adyacentes a ella;
- Exigencia del marcado CE obligatorio (Art. 63) para aquellos productos que deban ostentarlo en territorio europeo, algo que ya aplica a prácticamente cualquier elemento prefabricado de hormigón estructural, según vemos a continuación.

9. SOSTENIBILIDAD

9.1. Generalidades

La sostenibilidad se ha convertido en uno de los principales ejes de transformación del sector de la construcción, impulsada por los objetivos europeos de descarbonización y por un marco normativo cada vez más exigente. En este contexto, los productos de construcción y, en particular, los elementos prefabricados de hormigón desempeñan un papel clave en la reducción del impacto ambiental de los edificios e infraestructuras.

La construcción industrializada mediante prefabricados de hormigón presenta ventajas significativas desde el punto de vista ambiental: mayor control en la producción, optimización en el uso de materiales, reducción de residuos en obra, mejora de la eficiencia energética en los procesos productivos y mayor durabilidad de los elementos, lo que contribuye a alargar la vida útil de las estructuras.

Asimismo, la creciente digitalización del sector y el desarrollo de herramientas de evaluación ambiental están permitiendo cuantificar de forma objetiva el comportamiento ambiental de los productos, facilitando la toma de decisiones en fase de proyecto.

9.2. Declaraciones ambientales de producto (DAP)

En el actual marco europeo, las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) se han consolidado como la principal herramienta para comunicar de forma transparente y verificable el impacto ambiental de los productos de construcción.

Las DAP se basan en el análisis de ciclo de vida (ACV), conforme a la norma UNE-EN 15804, y proporcionan indicadores ambientales cuantificados, siendo el más relevante el potencial de calentamiento global (GWP), expresado en emisiones de CO_2 equivalente.

La creciente exigencia de información ambiental en el sector —impulsada por iniciativas como el Reglamento de Productos de Construcción, el Pacto Verde Europeo o el marco Level(s)— está acelerando la implantación de DAP en los productos de construcción, convirtiéndolas en un elemento clave tanto para fabricantes como para proyectistas.

9.3. DAP sectorial de elementos prefabricados de hormigón

Con el objetivo de facilitar la adaptación del sector a este nuevo contexto, ANDECE ha desarrollado una serie de Declaraciones Ambientales de Producto sectoriales para distintas familias de productos prefabricados de hormigón, una de las cuales relativa a los elementos prefabricados de hormigón para infraestructuras de obra civil, que agrupa todos los productos descritos en varios capítulos de esta guía.

DAP sectorial de ANDECE de Productos prefabricados de hormigón para infraestructuras de obra civil

Estas DAP sectoriales constituyen una base de datos ambiental representativa, robusta y verificada, que permite a las empresas disponer de información fiable sobre el comportamiento ambiental de sus productos, incluso en ausencia de DAP individuales.

Su principal valor radica en:

- Proporcionar datos de referencia para el cálculo de la huella de carbono de edificios.
- Servir como herramienta de apoyo en la toma de decisiones en fase de diseño.
- Facilitar la transición hacia DAP específicas de empresa.
- Anticipar futuras exigencias regulatorias.

Además, estas DAP sectoriales permiten posicionar al sector del prefabricado de hormigón en un entorno donde la transparencia ambiental y la disponibilidad de datos serán cada vez más determinantes.

9.4. Contribución a sistemas de evaluación de la sostenibilidad

Las DAP adquieren un papel especialmente relevante en los sistemas de certificación de la sostenibilidad de infraestructuras, como BREEAM INFRASTRUCTURES o ENVISION, según tratamos en la Guía técnica de elementos prefabricados de hormigón en sistemas de certificación de la sostenibilidad.

Estos sistemas valoran positivamente el uso de productos con información ambiental verificada, otorgando créditos específicos por la incorporación de DAP. En este sentido, los elementos prefabricados de hormigón con DAP contribuyen a mejorar la calificación global del edificio.

9.5. Otras consideraciones

Más allá de la información ambiental proporcionada por las DAP, la sostenibilidad de las estructuras prefabricadas de hormigón debe abordarse desde una perspectiva global que tenga en cuenta todo su ciclo de vida.

En este sentido, cabe destacar:

- Optimización estructural: mayor eficiencia en el uso de materiales gracias al diseño industrializado.
- Reducción de impactos en obra: menor generación de residuos, menor ruido y menor afección al entorno.
- Durabilidad y mantenimiento: estructuras con larga vida útil y menores necesidades de intervención.
- Industrialización y digitalización: integración con BIM y otras herramientas que mejoran la eficiencia del proceso constructivo.

Todo ello refuerza el papel de la prefabricación de hormigón como una solución alineada con los principios de la economía circular y la construcción sostenible.

Figura.- La nueva barrera de seguridad New Jersey, construida con plásticos y material reciclado a partir de neumáticos fuera de uso, supone una mejora respecto a los sistemas de protección convencionales porque absorbe mayor energía del impacto y reduce las emisiones de CO2 generadas durante el proceso de fabricación

10. METODOLOGÍA BIM

10.1. Conceptos básicos

La metodología BIM (modelado de información de la construcción) es un fenómeno imparable que irremediablemente empieza a cambiar la forma en que se ha concebido la construcción hasta ahora. Alineada con la llamada Industria 4.0 o Construcción 4.0, BIM viene fundamentalmente a “poner orden” en los proyectos de construcción, estableciendo mecanismos que permiten a todos los agentes participantes (estudios de arquitectura, consultoras e ingenierías, direcciones de proyecto y obra, empresas constructoras y subcontratistas, proveedores de materiales de construcción, administraciones, gestores de edificios e infraestructuras, etc.) establecer una comunicación más fluida, basándose en el desarrollo y acceso a modelos tridimensionales virtuales del edificio o infraestructura que se comparten, y que contienen información más allá de la geométrica con el fin de facilitar su uso en las diferentes fases del ciclo de vida del proyecto.

El sector de la construcción debe afrontar este salto hacia la digitalización de los proyectos, algo que atañe especialmente a los fabricantes y proveedores de productos de construcción, elementos imprescindibles para realizar cualquier proyecto constructivo.

En la etapa pre-BIM, cada proyecto, véase un edificio, se componía a su vez de determinados sub-proyectos (estructura, fachadas, instalaciones, accesos, etc.) que se han diseñado y ejecutado mayoritariamente mediante planos, y de forma independiente y a veces contradictoria (por ejemplo, una tubería que se define por donde ya transcurre una columna), provocando un número muchas veces elevado de errores que se manifiestan fundamentalmente durante la fase de ejecución, con los consecuentes perjuicios en plazos y costes.

En cambio, BIM actúa como una gran base de datos de todos los elementos que forman parte de un proyecto de construcción. Cada elemento está catalogado, por así decirlo, y cada cambio que pueda realizarse (por ejemplo, una viga cuya posición se cambia por un determinado motivo) permite visualizar cualquier alteración de los elementos adyacentes (por ejemplo, las conexiones con los pilares en los que apoya). Además, al ir incluyendo y refinando información a lo largo del proyecto, se genera un historial donde se archivan las decisiones tomadas, los datos de los materiales y los servicios realizados con la conformidad legal adecuada.

Por estos motivos, el uso creciente de BIM representa una oportunidad ideal para la consolidación definitiva de la industria de los elementos prefabricados de hormigón. La metodología BIM y especialmente la construcción industrializada con elementos prefabricados de hormigón se basan en parámetros similares: control más exigente desde la fase de diseño, un estricto cumplimiento de la geometría y la posición de los distintos elementos constructivos, mayor calidad, costes y plazos controlados y, como consecuencia de todo ello, mayor eficiencia al término de la obra.

10.2. Estrategia BIM de las empresas de prefabricados

10.2.1. El salto a BIM

Cada vez más, cualquier fabricante que aspire a participar en proyectos desarrollados bajo esta metodología, deba desarrollar antes un catálogo de productos en lenguaje electrónico BIM que permita a los proyectistas utilizar y conocer esta información. Se pasa de una información técnica basada en planos o ficheros de texto, a archivos digitalizados legibles por software BIM. La forma de transformar esta información en BIM diferirá según el tipo de fabricante: su magnitud, capacidad técnica y económica, ámbito geográfico de actuación, etc. Para ello, es fundamental que el fabricante digitalice su catálogo de producto, algo que será más o menos complejo en función básicamente del grado de estandarización de los elementos. En el caso de los elementos con aplicaciones estructurales, cada fabricante cuenta con una serie de secciones y características tipo que habrá que adaptar para cada proyecto específico, pudiendo encontrarnos además con un número elevado de elementos variados dentro de un mismo proyecto.

10.2.2. Nivel de información de los objetos

Otra decisión que subyace en este sentido es qué cantidad de información debe incorporarse en BIM, para lo cual habrá que decidir qué debe incluirse y qué no (por ejemplo, características que no sean relevantes para el proyecto, o prefieran omitirse por ser información confidencial, etc.) y qué nivel de parametrización (optimizar el número de objetos a desarrollar, agrupándolos por ciertas características/parámetros). La información que contendrán los objetos, puede clasificarse de la siguiente forma:

- Geometría: se puede definir con exactitud (largo x ancho x alto), o bien parametrizar dejando abiertas las dimensiones, definiendo un rango para cada dimensión y/o fijar un valor exacto que sea representativo (por ejemplo, placas alveolares de canto 1.200 mm).

- Datos básicos: pueden ser las características esenciales que presentan las normas armonizadas de producto, referencia para los prefabricados con marcado CE (por ejemplo, tomando los valores que ya vienen definidos en la documentación de marcado CE, como es el caso de las Declaraciones de Prestaciones).

- Otros datos: información que el fabricante puede adicionalmente asignar al objeto BIM, ya sea de tipo cuantitativo (precio por m2, texturas superficiales, etc.) y/o cualitativo (marketing, instrucciones de montaje, etc.).

10.2.3. Desarrollo de objetos BIM

Una de las decisiones que debe tomar la empresa es si el desarrollo de objetos BIM de su catálogo de productos se lleva a cabo con personal propio (departamento técnico, delineantes, etc.) o si es preferible recurrir a una entidad especializada externa. En el caso de los fabricantes de estructuras en que, por magnitud de la empresa, y en que predominen los elementos poco estandarizados que dependen de cada proyecto, cabe esperar que la empresa apueste por la ir formando a personal propio para que adquiera las competencias necesarias en el uso de herramientas de modelado BIM y generar una biblioteca propia y ampliable en el tiempo.

10.3. Plataformas de objetos BIM

Es esencial apuntar la importancia que están adquiriendo las plataformas BIM de objetos de construcción, que presentan un número creciente de archivos digitales de productos y sistemas de construcción, tanto de fabricantes con productos específicos como de productos genéricos. Estas plataformas equivalen a buscadores de productos de construcción, donde aparecen todos aquellos productos de empresas que tienen objetos BIM con información geométrica y de otras características.

Cabe destacar la iniciativa llevada a cabo por ANDECE colaborando con algunas de estas plataformas para presentar una galería de productos prefabricados de hormigón

representativos, con el objetivo de enseñar a las empresas asociadas el camino a emprender en esta evolución digital hacia la metodología BIM.

10.3.1. BIMETICA

De origen español, la base de datos continúa creciendo gracias a la colaboración activa de diferentes fabricantes y asociaciones empresariales, que añaden nuevos productos y actualizan los datos continuamente. Gracias a ello, cualquier usuario puede acceder gratuitamente a la información de los productos y descargar los objetos BIM como familias Revit, objetos Archicad, archivos IFC, archivos AECOsim, archivos CAD 2D/3D, especificaciones técnicas, etc. con información detallada que puede integrarse directamente en el proyecto.

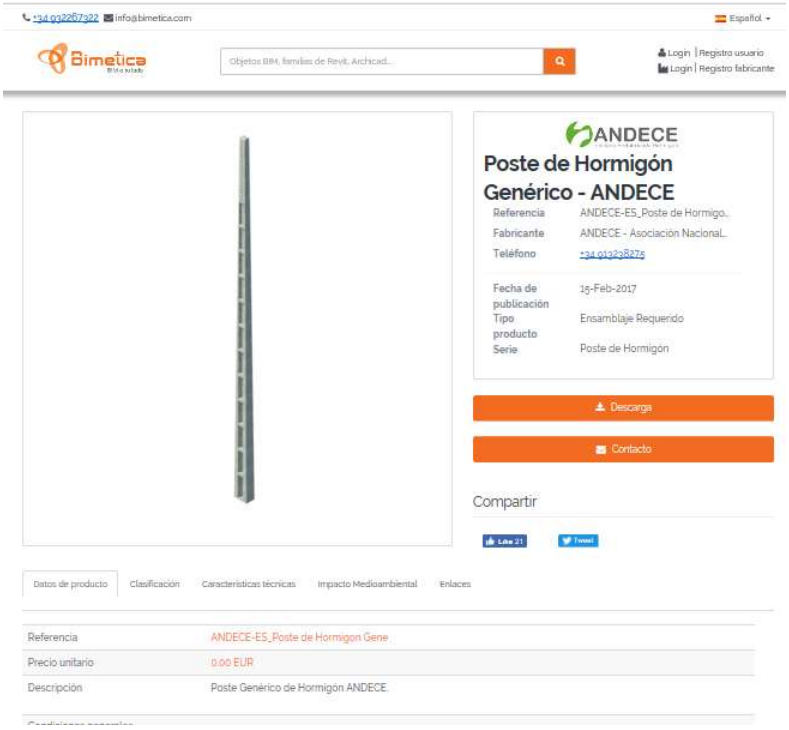


Figura.- Ventana de presentación del poste genérico prefabricado de hormigón en la galería BIMETICA

+info: Galería de productos genéricos de ANDECE en BIMETICA [+]

10.3.2. BIM&CO

De origen francés, BIM&CO ofrece una plataforma de colaboración internacional para contratistas y fabricantes de productos de construcción con el objetivo de estructurar y distribuir sus datos a todas las partes involucradas en los procesos de la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción.

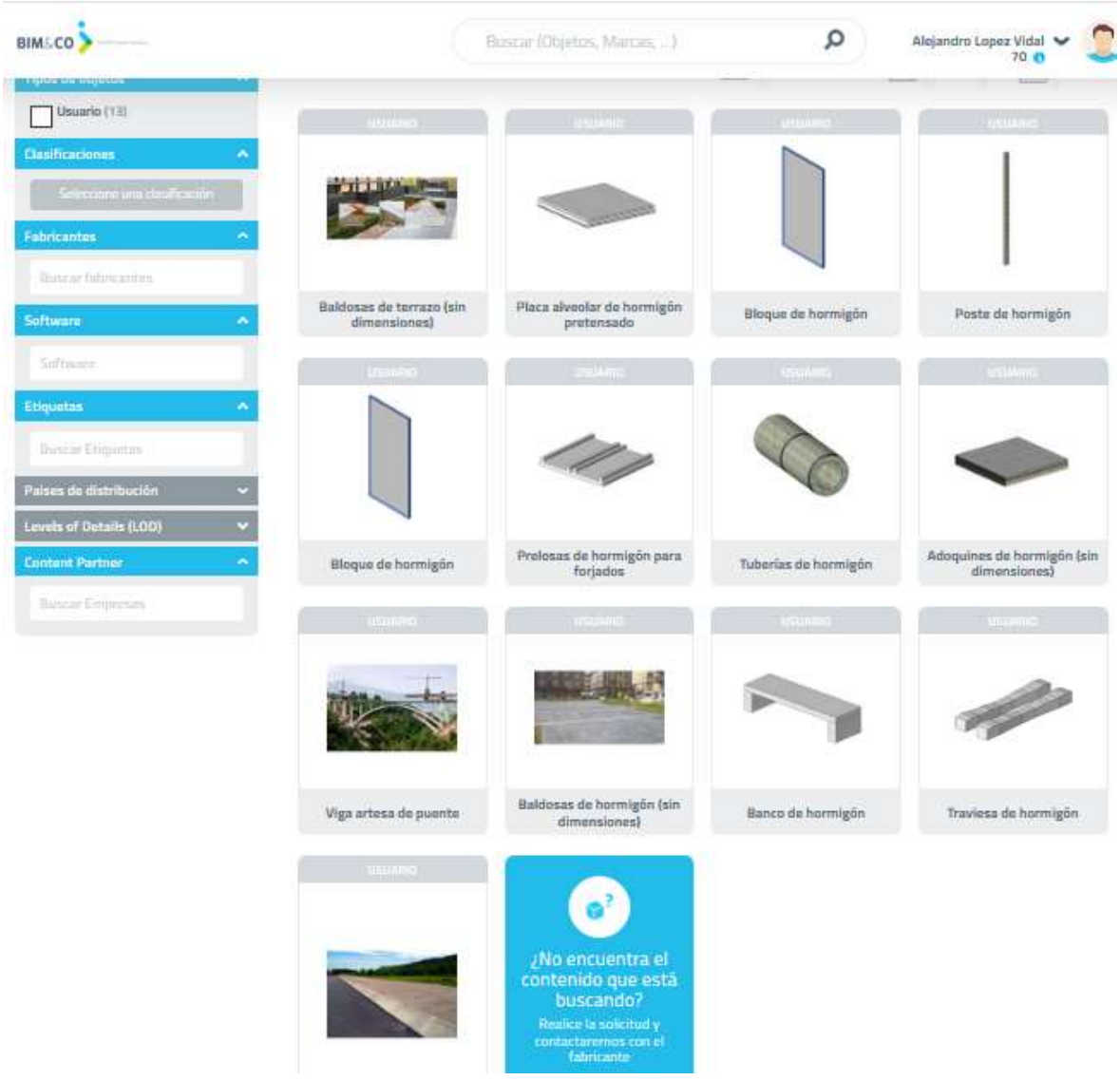


Figura.- Presentación de los objetos genéricos de ANDECE en la plataforma BIM&CO

"Galería de productos genéricos de ANDECE en BIM¬CO" [+]

Ejemplo de contenidos del objeto genérico "Viga artesa de puente" desarrollado directamente por ANDECE dentro de la plataforma BIM&CO

- Información general: datos creación, enlaces útiles (por ejemplo, al buscador de fabricantes de la web de ANDECE al tratarse de un producto genérico), código QR para poder descargarlo, etc.
- Fotografías seleccionadas de los elementos.
- Modelos 3D para descarga en el/los software en que se haya desarrollado (en este caso REVIT).
- Documentos adicionales: libertad para añadir información técnica, comercial, etc. que el fabricante quiera añadir.
- Propiedades y variantes: descripción técnica del elemento (en este caso, clasificado por los distintos cantos habituales).
- Clasificaciones según los estándares más reconocidos globalmente.
- Países de distribución: se puede dejar abierto, o acotarlo al país/países donde se comercialice el producto para concentrar la atención en un área geográfica determinada.

10.4. Entrada del prefabricador al proyecto

Los proyectos con sistemas constructivos con elementos prefabricados de hormigón deben definirse de forma completa e inequívoca en proyecto (como en BIM), comenzando por la forma (precisión geométrica más elevada debido al proceso industrial) y las propiedades técnicas de los elementos individuales (vigas, placas prefabricadas de hormigón,...) hasta conformar el sistema constructivo completo (estructura, fachada,...), concibiendo, como debiera ser lógico, que lo proyectado debe ser construible. Con este enfoque, el prefabricador se presenta cada vez más como un apéndice del proyecto, al tener inevitablemente que contar con su asistencia técnica en el desarrollo del proyecto.

10.5. BIM como elemento de diferenciación

Los usuarios de BIM afirman frecuentemente que la implementación de BIM deberá provocar un empuje a la industrialización en la construcción, de forma que cabe esperar que esto también conduzca a una mayor prescripción de elementos prefabricados de hormigón, especialmente aquellos con un mayor componente industrializado (estructuras, fachadas) frente a otros sistemas constructivos alternativos.

Además, el uso de software por parte de los prefabricadores en la etapa de diseño, permite despiezar los elementos individuales y de esta forma generar automáticamente las planillas de fabricación de dichos elementos por lo que resulta aún más si cabe un proceso controlado y eficaz, frente a la construcción tradicional en la que el proceso es cambiante y se diluye al ir avanzando a lo largo de las etapas.

También debe hacerse notar que los productos o sistemas de construcción deban quedar fijados al proyecto en fases cada vez más tempranas, de forma que la conocida definición de “Unidad X o similar” reduzca enormemente su presencia en las memorias de los proyectos, lo cual desde el punto de vista de los elementos industrializados, es una clara ventaja.

Figuras.- La primera imagen es la de una estructura prefabricada de hormigón; y la segunda corresponde a una estructura resuelta in situ. Mientras que en la primera la precisión y el respecto por la geometría y posición de los elementos es imprescindible, en la estructura in situ, independientemente de si el proyecto fue o no desarrollado bajo metodología BIM, la mayor dependencia de la ejecución (mano de obra, condiciones ambientales externas, fragmentación en la información de proyecto a

obra, mayor dispersión de agentes, etc.) hace que muy probablemente se pierdan los principios fundamentales bajo los que se rige BIM

Guía BIM para empresas de prefabricados de hormigón [+]

ANEXO: PROYECTOS DESTACADOS DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN PARA OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL

A continuación, se recogen algunos de los proyectos más destacados realizados por algunas de nuestras empresas asociadas y que incorporan elementos prefabricados de hormigón para obras de ingeniería civil, y que han sido presentados en revistas de construcción, jornadas técnicas o webinars con la colaboración de ANDECE:

- Diseño, fabricación y colocación de marcos prefabricados de hormigón de SORIGUÈ en la factoría de SEAT en Martorell (Barcelona)
- Rápidos visitables prefabricados, por PRHOMARCO
- La vía en placa prefabricada de AFTRAV como solución innovadora para la vía ferroviaria
- PREFABRICADOS PUJOL participa en la construcción del nuevo paso elevado de tren en la variante de la C-13 en Térmens (Lleida)
- Cubierta de depósito mediante elementos prefabricados de hormigón de SUBEROLITA
- Rehabilitación de viaducto en Andorra la Vella mediante vigas de PREFABRICADOS PUJOL
- La vía en placa prefabricada en el nuevo acceso ferroviario de alta velocidad a Galicia - AFTRAV
- Estanque de retención bajo una zona de aparcamiento mediante marcos prefabricados de hormigón de PPALAU
- Dovelas para ampliación de la línea de metro L9 de Barcelona - ICA SORIGUÈ
- Estructura del puente sobre el barranco Más de los Arcos en la carretera A-226, tramo Mirambel – Castellón de la Plana. MOLINS PRECAST SOLUTIONS (antiguo PRECON)

- Ampliación de la capacidad de un puente mediante marcos prefabricados de hormigón de PPALAU

EMPRESAS ASOCIADAS

Relación de fabricantes asociados de ANDECE que declaran fabricar elementos prefabricados de hormigón para obras de ingeniería civil, en el momento de edición de esta guía. Seleccionar "Obra civil" en el siguiente enlace: http://www.andece.org/directorio-de-negocios/

SOCIOS ADHERIDOS

Relación de socios adheridos de ANDECE que suministran productos y/o servicios directamente relacionados con los elementos prefabricados de hormigón para obras de ingeniería civil, en el momento de edición de esta guía: http://www.andece.org/miembros-adheridos/

REFERENCIAS

- Presentación guía técnica de elementos prefabricados de hormigón para obras de ingeniería civil [+]
- Guía (Auto)declaraciones ambientales de productos prefabricados de hormigón – ANDECE [+]
- Código Estructural [+]
- Academia online ANDECE [+]
- "Prefabricación de hormigón aplicada en puentes: una tecnología con margen de crecimiento". NOTICRETO [+]
- "Evolución tecnológica en los dispositivos salvacunetas para carreteras". Obras Urbanas [+]
- "Precast concrete railway track systems". FIB. 2006 [+]

- “La vía sin balasto a partir de placas prefabricadas de AFTRAV”. Luis Albajar. AFTRAV [+]
- “Hacia la sostenibilidad en la obra civil con soluciones prefabricadas de hormigón”. CPI [+]