

RESUMEN TEMA 10 GRUPO INFRAESTRUCTURAS DE TRANSPORTE.

SUBGRUPO 1 CARRETERAS

OBRAS DE PASO

1. OBRAS DE PASO.

Las obras de paso son los elementos que salvan una discontinuidad en el trazado de una carretera para conseguir el paso por ella. Según su **tamaño e importancia** tenemos: Pequeñas obras de paso (como caños, tajeas, alcantarillas y pontones), Puentes y viaductos, Pasarelas y Acueductos. Es destacable que una vez fijado el trazado de la vía, el **emplazamiento** de la obra de paso queda fijado, aunque en otros casos será la solución del puente por su singularidad la que **condicione el trazado**.

Entre las **distintas etapas** de la vida de las obras de paso habrá que considerar: **la fase de proyecto, el proceso constructivo y finalmente la fase de explotación y conservación.**

En el **proyecto de obras de paso** se definirá por completo la estructura siguiendo una serie de etapas, desde los trabajos previos de estudio de la documentación existente, la realización del estudio geotécnico de cada una de las cimentaciones como paso previo al dimensionamiento y cálculo estructural a nivel de proyecto de construcción, del tablero, pilas, estribos y aparatos de apoyo.

El **proceso constructivo** es fundamental incluso en la fase de proyecto, ya que guarda una estrecha relación con el tipo estructural por lo que las limitaciones de éste incidirán en la solución elegida. Entre las circunstancias que pueden condicionar el proceso constructivo se pueden citar la altura de la rasante, la accesibilidad de la zona y su topografía, la programación de la obra o la geometría de la traza. La última fase es la de **explotación y conservación**, que detallaremos más adelante.

2. TIPOLOGÍAS Y MATERIALES.

Para establecer la **tipología** de la obra de paso el proyectista debe estudiar el carácter y magnitud del obstáculo a salvar para establecer el tipo de estructura para determinar la solución óptima entre las posibles soluciones teniendo en cuenta 4 aspectos fundamentales como son la **funcionalidad, seguridad, economía y estética**.

Las **tipologías de puentes** pueden clasificarse en base a los materiales empleados como pueden ser puentes de hormigón armado, pretensado o puentes metálicos y mixtos. Además, según la tipología estructural podemos encontrar puentes de vigas, losas, de cajones, colgantes, atirantados o puentes arco, entre otros.

En referencia a la **tipología estructural**, podemos destacar algunas características de las principales tipologías de obras de paso según el **Manual de Inventario de Obras de Paso**.

✚ **Tablero de losa/vigas/cajón:** Se trata de un tablero formado una losa o por vigas longitudinales unidas entre sí mediante una losa superior que materializa la plataforma del puente. Se apoya o empotra sobre las pilas o estribos. Trabajan fundamentalmente a flexión y el tablero suele soportar directamente las cargas de tráfico.

- ✚ **Colgante:** Puentes en los que el tablero se «cuelga» del elemento portante principal (cable) mediante péndolas. Los cables quedan suspendidos por encima del tablero desde las torres.
- ✚ **Atirantado:** Puentes en los cuales el tablero se sustenta mediante cables rectos inclinados, denominados tirantes, de un elemento que se sitúa por encima del mismo y que recibe el nombre de pilono.
- ✚ **Arco:** Es un elemento estructural de directriz curva que trabaja fundamentalmente a compresión. Puede presentar tablero inferior, tablero superior o tablero intermedio. La transmisión de la carga del tablero al arco se realiza a través de péndolas o pilares.

En relación al **rango de utilización de las diferentes tipologías estructurales**, según la luz entre pilas, podemos poner como ejemplo que se pueden emplear puentes bóveda y pórtico hasta unos 10-15 m, puentes de vigas y losas nervadas y de canto constante y variable hasta los 40-50 m, los puentes de cajones de canto constante hasta los 100 m mientras que los de canto variable pueden emplearse hasta los 200 m de luz.

3. MÉTODOS CONSTRUCTIVOS Y MEDIOS AUXILIARES.

En cuanto a la **ejecución de los tableros**, en el caso de que se lleve a cabo su ejecución mediante **elementos prefabricados**, se emplearán vigas de hormigón o tramos metálicos contruidos en taller. Tradicionalmente se suelen colocar con grúa siempre que el peso de los elementos o la altura de la rasante no lo impida. Con alturas o peso excesivos, hay que acudir al uso de vigas de lanzamiento que consisten en grandes vigas de celosía metálicas que, apoyándose en las pilas del puente, transportan las vigas a su posición definitiva.

Por su parte los **tableros contruidos in situ o con dovelas prefabricadas** suelen ser contruidos con el método del **cimbrado convencional** para luces de 50-60 m que se encargan de sostener los encofrados sobre los que se va a hormigonar el tablero a partir una estructura convencional de vigas y puntales para alturas de 15-20 m con cimbras cuajadas y para alturas mayores de hasta 35-40 m se emplean torres y cuchillos metálicos. Dentro del sistema de cimbra convencional están también los **encofrados túneles** y además el proceso de **hincado** para la ejecución de pasos inferiores, muy utilizado en la ejecución de pasos inferiores bajo carreteras o vías férreas en servicio.

Otro método es la de **ejecución en tramos sucesivos** en el caso de puentes de mucha longitud donde no pueda llevarse a cabo el cimbrado de vanos de una sola vez, especialmente mediante **autocimbra**, que no depende de la altura de la rasante. Son muy similares a las vigas de lanzamiento, ya que, apoyándose en la coronación de las pilas y la estructura ya contruida, permiten soportar los encofrados, permitiendo así alcanzar los 40-50 m e incluso los 60 m de vano, si bien tienen el inconveniente de ser muy costosas y requerir grandes longitudes de las obras de paso para su amortización.

Además, cabría citar el **método de empuje**, para las secciones en cajón siendo necesario que el trazado sea una recta de pendiente uniforme o una hélice de planta circular y paso constante, que consiste en ir ejecutando el tablero en un extremo del puente e ir empujándolo hasta su posición definitiva con pescantes de lanzamiento, solo siendo interesante en puentes de gran longitud, mayor a los 300-400 m con luces del orden de los 50 m.

El último procedimiento a destacar sería la construcción de tableros con **avance en voladizo**, siempre ligado a la sección en cajón hormigonada in situ o construida con dovelas prefabricadas con luces máximas de vano de hasta 250 m. Para ello el tablero se inicia apoyado en un punto fijo a partir del cual se va avanzando creando estructuras parciales auto-portantes o apoyadas en elementos auxiliares como tirantes para las mayores luces, mediante los carros de avance. No obstante, cuando la estructura tiene un gran número de vanos, este procedimiento resulta lento (y caro) y se recurre al empleo de **vigas autolanzables**.

En cuanto a la construcción de pilas y estribos no hay ninguna particularidad significativa que pueda condicionar su tipología y diseño previo, pero sí que es cada vez más frecuente el empleo de elementos prefabricados en el caso de muros de acompañamiento y aletas. Para pilas de altura moderada, lo normal es ejecutarlas con encofrado de una sola vez, si bien en las de gran altura se emplearan encofrados trepantes en lugar de los deslizantes.

Respecto a los **medios auxiliares**, en la construcción de puentes de carretera es habitual el empleo de estructuras y elementos auxiliares para facilitar y llevar a cabo su proceso constructivo y que este pueda desarrollarse, tanto desde un punto de vista técnico como económico de la manera más eficaz posible, como son las cimbras, encofrados, medios de elevación, vigas de lanzamiento, pescantes o carros de avance en voladizo.

En este sentido resulta necesario hacer referencia a la **Orden FOM 3818/2007 para el uso de elementos auxiliares de obra en la construcción de puentes de carretera** que establece la obligatoriedad de redactar un proyecto específico para el uso de cualquier tipo de medio auxiliar y la necesidad de que cumplan con la reglamentación específica tanto nacional como europea y ostentar con el marcado CE en aquellos casos en que sean de aplicación.

4. CONSERVACION E INSPECCION DE OBRAS DE PASO.

La última etapa de la explotación de Puentes corresponde a la conservación y la inspección de los mismos, para garantizar el cumplimiento de su funcionalidad en condiciones de seguridad y comodidad para los usuarios. Los **programas de conservación e inspección de puentes** resultan esenciales para el buen funcionamiento de la estructura, es por ello que se emplea la **Guía de Inspecciones Básicas de Obras de Paso**, desarrollado a partir del inventario de estructuras de la Red y la realización de forma sistemática de inspecciones de las obras de paso según los 3 niveles de estudios como son:

- **Inspecciones básicas o rutinarias**, que son aquellas inspecciones de carácter visual, desarrolladas por personal encargado de la conservación de la carretera, con la misma frecuencia que se llevan a cabo las labores de vigilancia en ésta, de forma sistemática para detectar deterioros de forma temprana y prevenir que degeneren en deterioros graves. Se realizan en todas las estructuras mayores de 1 metro y como resultado, se rellena una ficha de inspección que se integra cada 15 meses en el Sistema de Gestión de la D.G.C.

Se establece una periodicidad entre inspecciones de 15 meses, a fin de obtener datos en diferentes estaciones climatológicas. En cualquier caso, siempre que la obra de paso sea objeto de una situación anómala, será necesario realizar una nueva inspección básica

independientemente de la cadencia estipulada. Algunas de estas situaciones accidentales pueden ser: impactos de vehículos en la obra de paso, riadas, terremotos, etc. Como consecuencia de ellas se emprenden, en general, actuaciones de conservación ordinaria, pero también puede surgir la necesidad de otro tipo de inspección más detallada que finalmente conlleve realizar actuaciones de conservación extraordinaria, reparación o incluso rehabilitación.

- **Inspecciones principales**, son inspecciones visuales minuciosas realizadas por personal especializado, si bien no se requiere el uso de medios especiales, llevadas a cabo con una periodicidad máxima de 5 años, salvo que sean requeridas a consecuencia de un suceso accidental o tras una inspección básica donde se observe un deterioro importante. Se realizan en todas las estructuras mayores de 3 metros y como resultado, se rellena una exhaustiva ficha de inspección que se integra en el Sistema de Gestión de la D.G.C

En las inspecciones principales se dividirá la estructura en 4 zonas para su mejor evaluación, cimiento, subestructura conformada por estribos, pilas y aparatos de apoyo, superestructura y los equipamientos del puente. En base a los resultados de auscultación, habrá que decidir la medida de conservación y reparación más aconsejada al caso, como podrán ser la rigidización de tableros en caso de problemas de deformaciones u oscilaciones, o inyectando las fisuras que puedan presentarse, así como añadir nuevos elementos como tirantes y contrapesos en casos de problemas de estabilidad.

Para cada uno de los daños que existan en un determinado elemento, se recogen en campo, **3 índices (índice de extensión, de gravedad y evolución)** que valoran el daño desde diferentes puntos de vista. El Sistema de Gestión, a partir de estos datos, obtiene en primer lugar para cada daño, un **Índice de Deterioro**. Dicho índice, toma un valor entre 0 y 100 y se puede dividir en 5 intervalos, donde cada uno tiene un significado distinto. Una vez obtenidos todos los índices de los deterioros existentes en una estructura, el objetivo consiste en poder valorar el estado de conservación de dicha estructura. Así, el denominado **Índice de Estado de la Estructura**, también dividido en 5 intervalos, tiene en cuenta el conjunto de los índices de deterioro que tiene la estructura y la distribución de los daños en la misma, lo que permite priorizar las actuaciones según la urgencia y gravedad de los deterioros observados

- **Inspecciones especiales**, consecuencia de los daños detectados en una inspección principal o por una situación singular. Este tipo de inspección si requiere de equipos y técnicos especialistas y además de un examen visual, se llevan a cabo ensayos de caracterización, como los de carga estática y dinámica para medir deformaciones, grammagrafía para comprobar el estado de corrosión de armaduras, extensometría y células de presión. El resultado no es una ficha, sino un análisis de los deterioros o problemas recogido en un informe completo o un proyecto en última instancia.

Un tipo particular de inspección especial es la inspección detallada que a diferencia de la principal requiere el uso de medios de acceso extraordinarios como camión grúa con canastilla para garantizar la posibilidad de inspeccionar todas las partes visibles.

La DGC ha puesto en marcha **cuatro contratos de servicio para la inspección, tanto principal como especial, de estructuras para el período 2020-2025**. De manera novedosa, se incorporan inspecciones masivas con **drones** (RPAS, Remotely Piloted Aircraft Systems) y se realizarán inspecciones principales detalladas en el **interior** de un gran número de estructuras, así como inspecciones especiales en todos los **puentes atirantados y tableros tipo celosía metálica** existentes en la RCE. Se elaborarán también los oportunos **planes de mantenimiento**.

5. PATOLOGÍAS DE DEGRADACIÓN. REHABILITACIÓN DE LAS OBRAS DE PASO.

Los daños y patologías más habituales que suelen presentar los diferentes elementos que conforman los puentes pueden ser muy diversos, aunque en líneas generales podemos destacar: **daños en cimentaciones, aparatos de apoyo, sistemas de drenaje, impermeabilización, juntas de dilatación, daños estructurales en el tablero, pilas y estribos, degradación de materiales, fisuración, deformaciones inadmisibles, daños generados por impactos de vehículos en pilas, tablero y sistemas de contención, etc.**

Las causas, al igual que los daños, pueden ser muy diversas, pero fundamentalmente se deben a factores como: Penetración del agua en los materiales (por una impermeabilización deficiente o por fisuración); defectos de ejecución; defectos de proyecto; paso del tiempo; Impactos de vehículos y embarcaciones; alteraciones del terreno; etc.

Para llevar a cabo cualquier **obra de rehabilitación de una obra de paso**, debe llevarse a cabo previa definición y caracterización de los daños y patologías, y posterior redacción del **proyecto constructivo**. Evidentemente, la casuística es infinita, y se deben proyectar las soluciones conforme a cada caso concreto, con el objeto de recuperar los niveles de seguridad originales, o en su caso adaptarlos a la normativa vigente.

Algunos aspectos típicos a incluir en los **proyectos constructivos de rehabilitación** de las obras de paso, en función de la patología podrían ser: sustitución de aparatos de apoyo; sustitución de los sistemas de contención (pretilos); impermeabilización de tableros y sustitución de los sistemas de drenaje; sustitución de juntas de dilatación; reparación de zonas con hormigón degradado; sustitución de armaduras corroídas; reparaciones estructurales (que pueden ir desde una sustitución de una viga si el puente es de vigas, hasta la disposición de pilas intermedias donde antes no había, pretensados exteriores, tirantes, encamisados, etc.).

6. NORMATIVA APLICABLE

Entre las principales normativas de aplicación en el proyecto de puentes de carretera cabría destacarse fundamentalmente:

- ❑ La **IAP-11** o instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera, con el objeto de determinar las acciones, coeficientes de ponderación y de combinación de acciones a considerar en el proyecto de puentes de la RCE.
- ❑ **RD 470/2021** por el que se aprueba el Código Estructural, que veremos a continuación.
- ❑ **OC 1/2019**, de 18 de marzo, sobre aplicación de los Eurocódigos a los proyectos de carreteras

- La **NCSP-07** o norma de construcción sismo-resistente de puentes para aquellos puentes en que las acciones horizontales sean resistidas por estribos o pilas verticales o casi verticales, incluyendo los puentes arco y atirantados, pero no a los colgantes, móviles y flotantes ni aquellos contruidos con materiales distintos de acero y hormigón.

7. ASPECTOS PRINCIPALES DEL REAL DECRETO 470/2021 POR EL QUE SE APRUEBA EL CÓDIGO ESTRUCTURAL.

Este **nuevo Código Estructural**, es de carácter eminentemente técnico, en línea con el empleado en otras instrucciones y códigos, como el CTE, o las Instrucciones **EHE-08 y EAE que quedan derogadas** mediante su aprobación, lo que permite no limitar la gama de posibles soluciones y **fomenta el uso de nuevos productos y técnicas innovadoras**. En el Código se **establecen y cuantifican unas exigencias** de forma que puedan ser **objeto de comprobación y cuyo cumplimiento** acredita la satisfacción de los **requisitos exigibles a las estructuras**, y en especial el relativo a la seguridad.

En el Código Estructural se regulan las **cuestiones relativas a bases de proyecto y análisis estructural**, así como a los **requisitos técnicos** exigibles a los materiales componentes, a la **durabilidad y vida útil** de las estructuras, a la **acción de incendio**, al **control y la ejecución de las estructuras**.

Además, algunos de **los principales aspectos** incluidos son, por ejemplo: Regular materias que no regulaba la reglamentación anterior (como la **gestión de las estructuras** existentes); Evaluar la **sostenibilidad de las estructuras**; establecer **recomendaciones** para la utilización del **hormigón proyectado estructural**; **Incorporar los aspectos más relevantes** de la normativa europea para el cálculo de las estructuras, de acuerdo a los procedimientos establecidos en los **Eurocódigos Estructurales**.

El Código Estructural, se distribuye en los siguientes **4 Títulos: Bases Generales, Estructuras de Hormigón, Estructuras de Acero y Estructuras Mixtas**. **Este nuevo Código Estructural tuvo su entrada en vigor el 11 de noviembre de 2021**. De acuerdo con su disposición transitoria única, **deberá aplicarse a:**

- Los proyectos cuya orden de estudio sea posterior al 11 de noviembre de 2021.
- Las obras de ingeniería civil cuya construcción se inicie con posterioridad al 11 de noviembre de 2024.

Por otro lado, **la D.A. 2ª del RD 470/2021 reconoce el proyecto con Eurocódigos como una “alternativa para justificar que la estructura cumple las exigencias establecidas en el Código Estructural”**. Es por ello que hay que mencionar que **desde marzo de 2019 está en vigor la OC 1/2019** sobre aplicación de Eurocódigos a los proyectos de la RCE. Según esta orden circular, **los puentes de nueva construcción, la ampliación/refuerzo de estructuras existentes y las obras geotécnicas, cuya orden de estudio sea posterior al 25 de marzo de 2019, deben proyectarse con Eurocódigos (teniendo en cuenta que el Código Estructural contiene prescripciones relativas a otros aspectos adicionales y complementarios al contenido de los Eurocódigos, que deben ser cumplidas)**.