

Control de ejecución de puentes de hormigón

Nota técnica para el desarrollo de los artículos 95 o 99 de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)



MINISTERIO
DE FOMENTO

DIRECCIÓN GENERAL
DE CARRETERAS

1. Introducción	5
2. Principios generales del control de ejecución de puentes de hormigón	7
2.1. Control de producción (control interno) y control de recepción (control externo)	7
2.2. Plan de control particularizado para cada puente	7
2.3. Control por actividades y por tipo de elemento estructural	8
2.4. Registro documental	9
3. Artículos de la EHE, referidos al control de ejecución, adaptados al caso específico de puentes de carretera	11
3.1. Artículo 95°. Control de la ejecución	11
3.2. Artículo 96°. Tolerancias de ejecución	15
3.3. Artículo 97°. Control del tesado de las armaduras activas	16
3.4. Artículo 98°. Control de ejecución de la inyección	16
3.5. Artículo 99°. Ensayos de información complementaria de la estructura	18
4. Ejemplos	19
4.1 Paso sobre autovía	19
4.2 Tablero con elementos prefabricados	21
5. Consideraciones finales	23

Las condiciones del control de ejecución de los puentes de carretera de hormigón están definidas en la *Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera* (IAP, 1998) y en la *Instrucción de Hormigón Estructural* (EHE, 1999).

La IAP, además de definir las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera, establece los coeficientes de mayoración de acciones que deben utilizarse. Los valores de estos coeficientes para verificaciones en estado límite último, son 1,35 en el caso de cargas permanentes y 1,5 en el caso de acciones variables.

A su vez, la EHE -Instrucción que regula las condiciones resistentes del hormigón estructural- define distintos niveles de control de ejecución, en función de los cuales se establecen unos coeficientes de mayoración de acciones para los distintos estados límite. Cuanto más bajo es el nivel de control, mayores son los coeficientes de seguridad y, en contrapartida, si el control es mayor, se reducen estos coeficientes, con el beneficio económico correspondiente. Asimismo, en su Título 6, la EHE establece los requisitos que deben cumplirse para alcanzar los distintos niveles de control de ejecución.

De acuerdo con los coeficientes de mayoración recogidos en la IAP y los criterios establecidos en la EHE, **el nivel de control de ejecución que se debe aplicar en puentes de carretera de hormigón es el nivel intenso.**

Este planteamiento no difiere mucho del existente antes de la publicación de la IAP (1998) y la EHE (1999). En España, tradicionalmente, se han utilizado coeficientes de mayoración de acciones menores en los proyectos de puentes que en los de edificios. Sin embargo, las Instrucciones EH y EP anteriores, aunque utilizaban los mismos criterios que actualmente postula la EHE respecto a la vinculación de los coeficientes de mayoración de acciones con el control de ejecución, no definían de una forma detallada cómo se debía efectuar cada tipo de control de ejecución.

La Dirección General de Carreteras, consciente de la importancia del control de ejecución, ha elaborado este documento, con el objeto de desarrollar lo establecido por la EHE y profundizar en los distintos aspectos del control de ejecución de puentes de hormigón. La intención última de esta nota es impulsar la estricta aplicación de las citadas Instrucciones y exigir una realización adecuada del control de ejecución.

De la calidad de la ejecución depende en gran medida la seguridad de las estructuras. Una ejecución controlada es la única forma justificada de aceptar una reducción de los coeficientes de mayoración, y las posibles reducciones de coste que ello comporta, sin pérdida de seguridad estructural.

Además, actualmente, en todo el conjunto normativo relacionado con los puentes, y con cualquier tipo de estructura en general, está explícitamente recogida la necesidad de asegurar una adecuada durabilidad de las estructuras. De acuerdo con el estado actual del conocimiento, la durabilidad en estructuras de hormigón, tal como se plantea en la EHE, es un problema global que debe considerarse en las distintas etapas de una obra, desde la redacción del proyecto, pasando por la elección y control de materiales hasta el control de la ejecución.

Desde hace años, está claramente asumida en nuestro país la necesidad del control de los materiales, hormigón y acero, a lo que contribuyó de forma decisiva la publicación de la EH-73. Sin embargo, no existe una conciencia clara de la necesidad del control de ejecución.

El control de ejecución, llevado a cabo de forma correcta, constituirá un avance notable en la calidad de los puentes de hormigón. No sólo asegurará la coherencia con las condiciones de seguridad consideradas en el proyecto sino que dará lugar a una mejora de la durabilidad de los puentes, con el consiguiente aumento de la vida útil y la disminución de los costes de inspección y conservación.

Independientemente de este primer apartado justificativo, este documento está organizado en cuatro apartados: en el apartado 2, se explican los principios generales del control de ejecución, desde el punto de vista de los puentes de carretera. En el apartado 3, se presentan los distintos artículos de la Instrucción EHE referidos al control de ejecución, con una redacción menos general que la de la EHE y ajustada a los puentes de carretera; en el apartado 4, figura un ejemplo de aplicación de los principios y prescripciones anteriores a un puente tipo. Por último, en el apartado 5, se recogen unas consideraciones finales en las que se resumen las exigencias que el Director de las Obras debe plantear a la Asistencia Técnica, encargada del control de ejecución, y al Constructor, encargado de la correcta ejecución de la obra.

2.1. CONTROL DE PRODUCCIÓN (CONTROL INTERNO) Y CONTROL DE RECEPCIÓN (CONTROL EXTERNO)

El control de ejecución que se plantea en la EHE, tal como se define en su Artículo 80º, es un control de recepción que se realiza, en el caso de puentes de carretera, en representación de la Administración Pública o, dicho con generalidad, en representación de la Propiedad.

La finalidad del control de calidad es comprobar que la obra terminada tiene las características de calidad especificadas en el Proyecto.

Para asegurar la eficacia final del control de calidad, es necesario contar con la acción complementaria del control ejercido por el Constructor, *control interno*, y del control ejercido por el receptor, *control externo*¹.

El control de ejecución externo, del que trata este documento, no es sustitutivo del control de ejecución interno que debe realizar el Constructor. Para poder considerar que el control de ejecución es intenso, como es preceptivo en los puentes de carretera, la EHE exige unas condiciones muy especiales al control interno llevado a cabo por el Constructor.

En los últimos años, numerosas empresas del sector de la construcción han implantado sistemas de calidad, sin que ello haya tenido consecuencias claras en la ejecución de los puentes de hormigón, ni en su calidad final. La existencia de procedimientos generales no es suficiente para llevar a cabo un adecuado control interno, como el que exige la EHE.

En síntesis, para asegurar el correcto funcionamiento de los procedimientos de control, es necesario, en primer lugar, vencer las inercias existentes y creer en la necesidad y los beneficios de un buen control de calidad, tanto en lo que se refiere al de producción (control interno) como al de recepción (control externo).

En segundo lugar, es necesario contar con personal especializado en control, con los conocimientos necesarios. Básicamente, el control de la ejecución está confiado a la inspección visual de las personas que lo ejercen, por lo que su buen sentido, conocimientos técnicos y experiencia práctica, son fundamentales para lograr el nivel de calidad previsto.

Además de todo ello, es preciso sistematizar tales operaciones de control para conseguir una eficacia elevada en el mismo, pues no siempre los defectos que pueden presentarse se detectarán, si no se ha considerado previamente la posibilidad de su existencia.

2.2. PLAN DE CONTROL PARTICULARIZADO PARA CADA PUENTE

Cada puente debe ser estudiado de forma particularizada, para así poder ajustar los procedimientos generales a las condiciones concretas de cada caso.

¹ Los términos *control interno* y *control externo*, tomados de la EHE, son equivalentes a los términos *control interior* y *control exterior* empleados en algunos documentos técnicos y contractuales de la Dirección General de Carreteras.

En general, el Plan de Control de un puente recogerá, de forma ordenada, al menos los siguientes aspectos:

- Descripción de las características específicas de la obra.
- Definición de los lotes de control.
- Definición de las inspecciones a realizar por lote y su programación temporal.
- Para cada inspección, se explicará el objeto de la misma, con indicación concreta de las pruebas y medidas que deben realizarse, los valores previstos de las magnitudes controladas y las desviaciones admisibles respecto de los mismos.
- Establecimiento de los criterios de aceptación y rechazo.
- Definición de gestión de las reservas técnicas.
- Definición de las formas de documentar el control de ejecución realizado.
- Descripción del equipo de inspección, incorporando un organigrama comentado.

2.3. CONTROL POR ACTIVIDADES Y POR TIPO DE ELEMENTO ESTRUCTURAL

Como tal control de recepción, el control de ejecución es un control estadístico.

De acuerdo con la EHE, para establecer el Plan de Control de una obra, hay que dividir ésta en lotes, que tienen en cuenta el volumen de obra. La EHE prescribe, en el caso de control intenso, la realización de tres inspecciones por cada lote.

Hay que tener en cuenta que este capítulo de la EHE ha sido redactado pensando fundamentalmente en estructuras de edificación, en las que es habitual que los elementos estructurales se repitan muchas veces en la misma obra. En este tipo de estructuras, es lógico pensar que, si las inspecciones son aleatorias y los elementos estructurales se repiten, todas las actividades y procesos involucrados resultarán comprobados a lo largo de la construcción.

En puentes de carretera, sin embargo, es necesario asegurar que se lleva a cabo un control de ejecución por tipos de elemento estructural, controlando las actividades y procesos constructivos involucrados, además de tener en cuenta, lógicamente, el volumen de obra.

Así, para establecer el Plan de Control, lotes y número de inspecciones, se tendrán en cuenta los criterios siguientes:

- Se definirán lotes que tengan en cuenta los distintos tipos de elementos del puente –cimentaciones, pilas, estribos, tablero y acabados– y, para cada tipo de elemento, los volúmenes de obra involucrados. Para un mismo elemento estructural, puede que por los volúmenes de obra correspondientes sea necesario definir más de un lote. Los criterios que se indican en el apartado 3 deben servir como base para la definición de los lotes en los puentes de hormigón.
- Para cada lote, se realizarán tantas inspecciones como actividades o procesos constructivos se realicen. En cualquier caso, **el número de inspecciones por lote nunca será inferior a tres**. En general, se deberán inspeccionar las siguientes actividades:
 - Replanteo y geometría.
 - Encofrados y cimbras.
 - Armaduras pasivas y activas, en caso que existan.
 - Hormigonado y curado.
 - Tesado e inyección de armaduras activas.
 - Ejecución de la impermeabilización y colocación de juntas, pretilas y barandillas.

Teniendo en cuenta que los elementos prefabricados que se utilizan en los puentes son, en general, diseñados y elaborados para una aplicación específica, es decir, no son productos fabricados en serie, no se ha contemplado en este documento la posibilidad de disponer de una certificación de producto. Tampoco se ha previsto, por tanto, la aplicación de consideraciones especiales a los mismos en lo que se refiere al control de ejecución en el supuesto anterior.

2.4. REGISTRO DOCUMENTAL

Como todo control, el control de calidad de ejecución debe documentarse adecuadamente.

Cada inspección se resumirá en un parte o informe, y, en su caso, podrá dar lugar al establecimiento de no conformidades, que el Constructor deberá resolver y la Unidad de Control deberá comprobar, dejando constancia escrita de todo ello.

Los resultados de todas las inspecciones, así como las medidas correctoras adoptadas, formarán parte de la Documentación de Final de Obra.

ARTÍCULOS DE LA EHE, REFERIDOS AL CONTROL DE EJECUCIÓN, ADAPTADOS AL CASO ESPECÍFICO DE PUENTES DE CARRETERA

3.1. ARTÍCULO 95°. CONTROL DE LA EJECUCIÓN

3.1.1. APARTADO 95.1. GENERALIDADES

El control de la ejecución, que la Instrucción EHE establece con carácter preceptivo, tiene por objeto garantizar que la obra se ajusta al Proyecto y a las prescripciones de la citada Instrucción.

Corresponde al Director de las Obras la responsabilidad de asegurar la realización del control externo de la ejecución. Para puentes de carretera, el control de ejecución a llevar a cabo será en todos los casos de nivel intenso, en coherencia con los coeficientes de seguridad establecidos por la IAP.

Para el control de ejecución de los puentes de carretera se redactará un Plan de Control, dividiendo la obra en lotes, de acuerdo con lo indicado en la tabla 95.1.a.

En el caso que el puente tenga elementos prefabricados se definirán lotes para los mismos, teniendo en cuenta los diferentes tipos de elemento utilizados en el puente y el volumen de obra de cada tipo.

A partir de esta distribución de lotes (en la que se consideran los distintos elementos estructurales del puente y los volúmenes de obra) y teniendo en cuenta los distintos procesos o actividades involucrados en su construcción, se definirá el número de inspecciones que es necesario realizar por lote. Estas inspecciones deberán ser programadas al principio de la obra, en función del avance de la construcción previsto en el Plan de Obra.

En el caso de elementos prefabricados, el Contratista facilitará la información necesaria para programar y realizar las inspecciones oportunas a la planta de prefabricación.

El Plan de Control contendrá listas de comprobación de cada una de las actividades a controlar. Estas listas, que deberán adaptarse a las condiciones particulares de cada estructura, servirán para evitar improvisaciones y garantizar que, durante la inspección, se efectúa un control sistemático y ordenado de la actividad que se está realizando.

TABLA 95.1.a DE LA EHE ADAPTADA A PUENTES

ELEMENTO	TAMAÑO DEL LOTE
CIMENTACIONES	500 m ³ , sin rebasar tres cimentaciones
PILAS	200 m ³ , sin rebasar los 10 m de longitud pila
ESTRIBOS	Dos estribos
TABLERO	500 m ³ , sin rebasar: – un tramo en el caso de puentes que se construyen por tramos. – una dovela en el caso de construcción por voladizos sucesivos.

A título de ejemplo, en la tabla 95.1.b, se recogen algunos de los aspectos que deben controlarse durante la ejecución de puentes y que, según el caso, estarán contenidos en las listas de comprobación. Por su carácter genérico, esa tabla debe tomarse únicamente como una guía a la hora de preparar las listas de comprobación específicas de cada puente.

El control de la instalación de aparatos de apoyo y de los acabados (impermeabilización del tablero, juntas de calzada, pretilas y barandillas) no figura en la tabla 95.1.b por quedar fuera del ámbito de la EHE. Sin embargo, estos aspectos deben estar recogidos en las Listas de comprobación de los puentes de carretera. Para la definición de lotes, se considerará el mismo número de lotes en los acabados que en el tablero.

Las inspecciones constituirán puntos de parada que pueden condicionar la siguiente actividad o proceso. Los resultados de todas las inspecciones, así como las medidas correctoras adoptadas, se recogerán en los correspondientes partes o informes. Estos documentos serán incorporados a la Documentación final de obra, tal y como se indica en el artículo 4.9 de la EHE.

El Constructor, como responsable único de la ejecución de la obra ante la Administración, garantizará, para la aceptación de cualquier suministrador o subcontratista, que éstos tienen sus instalaciones accesibles para la inspección de los servicios de control y de la Dirección de Obra.

**TABLA 95.1.b DE LA EHE ADAPTADA A PUENTES
COMPROBACIONES QUE DEBEN EFECTUARSE DURANTE LA EJECUCIÓN**

COMPROBACIONES PARA TODO TIPO DE PUENTES
<p>A) Tareas previas al comienzo de la ejecución</p> <ul style="list-style-type: none"> - Directorio de agentes involucrados. - Existencia de libros reglamentarios de registro y órdenes. - Existencia de archivo de certificados de materiales, hojas de suministro, resultados de control, documentos de proyecto y sistema de clasificación de cambios de proyecto o información complementaria. - Revisión de planos y documentos contractuales. - Existencia de control de calidad de materiales de acuerdo con los niveles especificados. - Comprobación general de equipos: certificados de tarado, por ejemplo. - Suministro y certificados de aptitud de materiales.
<p>B) Replanteo y geométricas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comprobación de cotas, niveles y geometría. - Verificación de tolerancias.
<p>C) Cimbras y andamiajes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Existencia de cálculo, en los casos necesarios. - Comprobación de planos. - Comprobación de cotas y tolerancias. - Revisión del montaje.
<p>D) Armaduras pasivas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo, diámetro y posición. - Corte y doblado. - Condiciones de almacenamiento. - Tolerancias de colocación. - Recubrimientos y separación entre armaduras. Utilización de separadores y distanciadores.
<p>E) Colocación de armaduras activas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Placas de anclaje y acopladores. - Cuñas de anclaje. - Trazado de los cables. - Diámetro de la vaina. - Soporte de la vaina. - Tubos de purga. - Estado y estanqueidad de vainas, anclajes, empalmes y accesorios. - Número de tendones y sección de los mismos.

F) Encofrados

- Estanqueidad, rigidez y textura.
- Tolerancias.
- Estado de limpieza, incluidos fondos.
- Geometría y contraflechas.

G) Transporte, vertido y compactación

- Tiempos de transporte.
- Condiciones de vertido: método, secuencia, altura máxima, etc.
- Hormigonado con viento, tiempo frío, tiempo caluroso o lluvia.
- Compactación del hormigón.
- Acabado de superficies.

H) Juntas de trabajo, contracción o dilatación

- Disposición y tratamiento de juntas de trabajo y contracción.
- Limpieza de las superficies de contacto.
- Tiempo de espera.
- Armaduras de conexión.
- Posición, inclinación y distancia.
- Dimensiones y sellado, en los casos que proceda.

I) Curado

- Método aplicado.
- Plazos de curado.
- Protección de superficies.

J) Tesado de armaduras activas

- Según artículo 97º, tal como está redactado en este documento.

K) Inyección de vainas de armaduras postesas

- Según artículo 98º, tal como está redactado en este documento.

L) Desmoldeado y descimbrado

- Control de la resistencia del hormigón antes del tesado.
- Control de sobrecargas de construcción.
- Comprobación de plazos de descimbrado.
- Reparación de defectos.

M) Tolerancias y dimensiones finales

- Comprobación dimensional.

COMPROBACIONES ESPECÍFICAS PARA ELEMENTOS PREFABRICADOS (Ver nota al pie)

A) Estado de bancadas

- Limpieza.

B) Colocación de tendones

- Placas de desvío.
- Trazado de cables.
- Separadores y empalmes.
- Cabezas de tesado.
- Cuñas de anclaje.

C) Tesado

- Programa de tesado y alargamientos.
- Comprobación de cargas.
- Comprobación de la resistencia del hormigón antes de la transferencia.
- Transferencia.
- Corte de tendones.

D) Moldes

- Limpieza y desencofrantes.
- Colocación.

- E) *Curado*
 - Ciclo térmico.
 - Protección de piezas.
- F) *Desmoldeo y almacenamiento*
 - Levantamiento de piezas.
 - Almacenamiento en fábrica.
- G) *Transporte a obra y manipulación*
 - Elementos de suspensión y cuelgue.
 - Situación durante el transporte.
 - Operaciones de carga y descarga.
 - Almacenamiento en obra.
- H) *Dimensiones finales y montaje*
 - Documentación correspondiente a la fabricación de cada elemento.
 - Estado general de cada pieza.
 - Dimensiones y contraflechas antes del montaje.
 - Métodos de montaje y condiciones de apoyo de las piezas.
 - Geometría después del montaje.

Nota: Las comprobaciones indicadas en los apartados A) a F) se llevarán a cabo en las plantas de prefabricación.

Comentarios

Un hormigón que, a la salida de la hormigonera, cumpla todas las especificaciones de calidad, puede ver disminuidas éstas si su transporte, colocación o curado no son correctos. Lo mismo puede decirse respecto al corte, doblado y colocación, tanto de las armaduras pasivas como de las activas y a la precisión con que se introduzcan en éstas las tensiones iniciales previstas en el proyecto. Ya se ha indicado que cualquier irregularidad en el trazado de las armaduras activas respecto a su correcta posición, modifica la distribución de tensiones en la sección transversal de la pieza y puede engendrar solicitaciones, no previstas en los cálculos, susceptibles de dañar o fisurar el hormigón. Especial importancia adquiere, por los conocidos riesgos de corrosión, el mantenimiento de los recubrimientos mínimos exigidos y el que la inyección de los conductos en que van alojados los tendones se realice en la forma adecuada. Además, aún realizadas las operaciones anteriores con todo cuidado, es preciso comprobar las luces y dimensiones de los elementos construidos para poder garantizar que la calidad de la obra terminada es la exigida en el proyecto.

Sólo cuando los resultados de una inspección sean considerados satisfactorios podrá comenzar-

se la siguiente actividad o proceso. Por ejemplo, la colocación de la ferralla podrá realizarse sólo cuando la geometría del encofrado se haya comprobado y sea correcta. Asimismo, para hormigonar, será necesario que las inspecciones anteriores se hayan realizado y hayan sido resueltas adecuadamente las no conformidades que pudieran haberse producido.

A efectos de la organización de inspecciones de control de ejecución, los elementos prefabricados se tratan como obra *in situ*, realizándose lógicamente las inspecciones en el lugar de fabricación.

Una vez que los elementos salen de la planta de prefabricación, corresponde al control de recepción la verificación de la documentación acreditativa del elemento y la verificación de las tolerancias geométricas y de las actividades de transporte, manipulación y montaje en obra.

La definición de lotes se realizará de acuerdo con las características de los elementos que se prefabrican, de manera que éstos queden recogidos de forma representativa. Para cada tipo de elemento, se definirán los lotes por número de unidades, en el caso de elementos pequeños, o por volumen de obra, cuando se trate de elementos de gran tamaño.

3.1.2. APARTADO 95.2. CONTROL A NIVEL INTENSO

Este nivel de control es el aplicable en puentes de hormigón de carretera, habida cuenta de los coeficientes de mayoración de acciones adoptados. Para su realización, se exigen por cada lote en

los que se ha dividido la obra, de acuerdo con el Artículo 95.1, todas las inspecciones necesarias para el control de los procesos o actividades involucradas en la construcción de cada elemento y, en ningún caso, menos de tres.

Además de estas inspecciones, que constituyen el control externo, este nivel de control exige que el Constructor posea un sistema de calidad propio, auditado de forma externa, y que la elaboración de la ferralla y los elementos prefabricados, en caso de existir, se realicen en instalaciones industriales fijas y con un sistema de certificación voluntario.

En caso de que alguna de estas circunstancias no se dé, el Director de las Obras deberá exigir que, para la obra en concreto, el Constructor elabore un plan específico que resulte equivalente a un sistema de calidad. Como parte del control de recepción, se deberá auditar el cumplimiento de ese plan, comprobando documentalmente y mediante inspecciones su realización.

En el caso de elementos que se realicen en instalaciones industriales, se exigirá que la empresa de prefabricación disponga de un sistema de calidad auditado externamente y, además, se efectuarán las inspecciones pertinentes de control de recepción, que se llevarán a cabo en la propia planta de prefabricación.

Comentarios

La adopción en la normativa vigente de unos coeficientes de mayoración de acciones menores que los previstos anteriormente obliga, para garantizar el mismo nivel de seguridad, a exigir unas determinadas condiciones de calidad en la construcción y a aplicar el nivel de control adecuado.

Cuando hay partes de obra que se ejecutan fuera del recinto de la misma (por ejemplo, ferralla y prefabricados), es destacable la importancia de extender las exigencias de calidad a los lugares donde éstas se realicen.

3.1.3. APARTADO 95.3. CONTROL A NIVEL NORMAL

Este nivel no es aplicable en puentes de carretera.

3.1.4. APARTADO 95.4. CONTROL A NIVEL REDUCIDO

Este nivel no es aplicable en puentes de carretera.

3.1.5. APARTADO 95.5. APLICACIÓN DE LOS NIVELES DE CONTROL

Este artículo no es aplicable en el caso de puentes de carretera.

3.2. ARTÍCULO 96°. TOLERANCIAS DE EJECUCIÓN

El Autor del Proyecto deberá adoptar y definir un sistema de tolerancias, que estará incluido en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la obra. En el Pliego estarán establecidas las decisiones y sistemática a seguir en el caso de incumplimientos.

El sistema de tolerancias definido, junto con el contenido del Pliego en relación con los incumplimientos, constituye una documentación básica de referencia, imprescindible para poder llevar a cabo correctamente el control de ejecución. Deberá comprobarse la existencia de esta documentación antes del comienzo de la obra.

3.3. ARTÍCULO 97°. CONTROL DEL TESADO DE LAS ARMADURAS ACTIVAS

Antes de proceder al tesado de las armaduras activas, deberá comprobarse que entre los documentos del proyecto existe un Plan de Tesado, en el que se indique al menos lo siguiente:

- Resistencia necesaria del hormigón en el momento de la transferencia.
- Secuencia de tesado de cordones.
- Escalones de tesado.
- Características exigibles al gato de tesado.
- Prohibición, si procede, de tesar simultáneamente todos los cordones de un tendón.
- Cálculo de alargamientos, habida cuenta de las pérdidas por rozamiento.
- Valores de μ , k , E_p utilizados en el cálculo anterior.

El control de las operaciones de tesado consta de las etapas siguientes:

- Inspección del equipo de tesado.
- Supervisión del estado de los cordones.
- Verificación de la estanqueidad de las vainas.
- Comprobación de que los cordones deslizan libremente en las vainas.
- Confirmación de la vigencia del certificado de tarado de los gatos.
- Determinación de la resistencia del hormigón en el momento de la transferencia. Para ello se efectuarán los ensayos de control de resistencia del hormigón indicados en el Artículo 88° de la EHE y, si éstos no fueran suficientes, los de información prescritos en el Artículo 89°.
- Supervisión del tesado.
- Comprobación de los recorridos de tesado (alargamientos).

El control de la magnitud de la fuerza de tesado introducida se realizará, de acuerdo con lo prescrito en el artículo 67° de la EHE, midiendo simultáneamente en los manómetros de las centrales de presión de los gatos (habida cuenta de las tablas de conversión según la armadura y el gato que se esté utilizando) y el correspondiente alargamiento experimentado por la armadura.

En las primeras diez operaciones de tesado que se realicen en cada obra y con cada equipo o sistema de pretensado, se harán las mediciones precisas para conocer, cuando corresponda, la magnitud de los movimientos originados por la penetración de cuñas u otros fenómenos, con el objeto de verificar las hipótesis previstas en el Proyecto.

El control de los alargamientos se realizará utilizando cinta métrica, con apreciación de 1,0 mm. Se compararán los valores reales con los teóricos, de acuerdo con lo indicado en el apartado 67.8.4 de la EHE.

3.4. ARTÍCULO 98°. CONTROL DE EJECUCIÓN DE LA INYECCIÓN

Las condiciones que habrá de cumplir la ejecución de la operación de inyección serán las indicadas en el Artículo 78° de la EHE.

La inyección de las vainas debe realizarse dentro de unos plazos adecuados para evitar el inicio de la corrosión en los cables del tendón. Las condiciones particulares de cada obra son determinantes para la definición del plazo máximo de tiempo entre el tesado y la inyección. El plazo de un mes establecido en los cometarios de Artículo 78.1 es una referencia genérica que debe analizarse en cada caso. Cuando se prevean plazos más dilatados que los que razonablemente se con-

sideren adecuados para evitar el inicio de la corrosión de los tendones, deberá comprobarse que se está aplicando algún sistema de protección al tendón.

Previamente al control de la ejecución de la inyección y al enfilado de las armaduras, debe comprobarse que las vainas son estancas, utilizando, si existiesen dudas, aire comprimido o agua a presión. Para ello, debe haber llaves de purga² en los puntos bajos y altos del trazado del tendón, para eliminar el agua en el primer caso y el aire en el segundo.

Durante la inyección, debe comprobarse la consistencia del producto que rebose por los tubos de purga, situados en los puntos altos. Su consistencia debe ser igual a la que tiene en la boquilla de inyección.

El proceso de inyección debe quedar siempre reflejado en un Parte de Control de la Inyección, donde deben anotarse las magnitudes de las distintas variables que han intervenido en el proceso y las anomalías o incidencias ocurridas.

El tiempo necesario para la inyección viene dado por la fórmula:

$$T_{iny} = \frac{A_v \cdot L_v}{1000 Q_{iny}}$$

donde:

T_{iny} Tiempo total de inyección del tendón en [min]

A_v Área de la sección transversal de la vaina en [mm²]

L_v Longitud de la vaina en [m]

Q_{iny} Caudal de la bomba de inyección en [l/min] para la presión empleada

Un método práctico para controlar la inyección de una vaina es realizar el gráfico que relaciona las presiones de inyección con la duración de la misma. Cualquier anomalía en el gráfico debe ser supervisada por personal técnico especializado.

Se llevarán a cabo, con frecuencia diaria, los controles de:

- El tiempo de amasado.
- La relación agua/cemento.
- La cantidad de aditivo utilizada.
- La viscosidad, con el cono Marsch, en el momento de iniciar la inyección.
- La viscosidad a la salida de la lechada por el último tubo de purga.
- La salida de todo el aire del interior de la vaina antes de cerrar sucesivamente los distintos tubos de purga.
- La presión de inyección.
- Existencia de fugas.
- La temperatura ambiente máxima y mínima los días que se realicen inyecciones y en los dos días sucesivos, especialmente en tiempo frío.

Cada diez días en que se efectúen operaciones de inyección, y al menos una vez, se realizarán los siguientes ensayos:

- De la resistencia de la lechada o mortero mediante la toma de 3 probetas para romper a 28 días.
- De la exudación y reducción de volumen, de acuerdo con el apartado 36.2 de la EHE.

² Estas llaves de purga permiten, además, controlar la progresión de la inyección e inyectar desde los puntos bajos en caso de ser necesario.

3.5. ARTÍCULO 99°. ENSAYOS DE INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA ESTRUCTURA

Para la realización de pruebas de carga, se seguirán las indicaciones del documento «*Recomendaciones para la realización de Pruebas de Carga de Recepción en Puentes de Carretera*» (Ministerio de Fomento, 1999).

El planteamiento de pruebas de carga con finalidad diferente de la contemplada en el mencionado documento, tales como la validación de obras de reparación, refuerzos, etc. deberá ser objeto de un plan individualizado.

4.1. PASO SOBRE AUTOVÍA

A continuación se expone el resultado de aplicar a un paso superior tipo sobre autovía, los criterios recogidos en el apartado 2.3 de este documento, así como las prescripciones de los artículos 95.1 y 95.2 de la EHE adaptados a puentes de carretera en el apartado anterior.

Como ejemplo, se ha considerado un paso superior de autovía de tres vanos de luces 18,0 + 24,0 + 18,0 m, de 61,0 m de longitud total y una anchura de 12,0 m. En la tabla siguiente, se indica el orden de magnitud de los volúmenes de obra correspondientes a los distintos elementos de la estructura.

ELEMENTO ESTRUCTURAL		m ²	m ³	NÚMERO DE ELEMENTOS
CIMENTACIONES	Pilas	-	100	2
	Estribos	-	100	2
ALZADOS	Pilas	-	40	2
	Estribos	-	200	2
TABLERO		732	350	1

En la tabla se han identificado los distintos tipos de elementos estructurales del paso superior y las cantidades de obra que corresponden a cada uno, para poder definir los lotes.

En un puente de estas características, deben inspeccionarse los procesos o actividades que se indican a continuación, para cada tipo de elemento estructural.

En las cimentaciones debe controlarse:

1. El replanteo, la geometría de las excavaciones y la idoneidad de las mismas para el hormigonado.
2. Las armaduras (disposición, recubrimientos, separaciones, calibres, etc.).
3. El proceso de hormigonado.

En los alzados de pilas y estribos debe controlarse:

1. El replanteo y calidad del encofrado.
2. Las armaduras (disposición, recubrimientos, separaciones, calibres, etc.).
3. El proceso de hormigonado.

En el tablero debe controlarse:

1. La cimbra.
2. El replanteo y calidad del encofrado.
3. La geometría y replanteo de los aparatos de apoyo.
4. Las armaduras pasivas (disposición, recubrimientos, separaciones, calibres, etc.)
5. Las armaduras activas (trazado, sujeción de las vainas, situación de los empalmes de las vainas, replanteo de placas de anclaje, etc.).
6. El proceso de hormigonado y curado.
7. El tesado de los cables.
8. La inyección.

Por lo que respecta a los acabados, debe controlarse:

1. Ejecución de la impermeabilización del tablero
2. Colocación de las juntas de calzada.
3. Colocación de pretilas, barandillas, etc.

Teniendo en cuenta lo dicho hasta aquí, los lotes e inspecciones que resultan en un puente de estas características son los que se muestran en la tabla siguiente.

TIPO DE ELEMENTO		LOTES	INSPECCIONES
CIMENTACIONES	Pilas	1	3
	Estribos	1	3
ALZADOS	Pilas	1	3
	Estribos	1	3
TABLERO		1	8
ACABADOS		1	3

En el tablero, se considera un único lote porque se hormigona de una vez.

La tabla 95.1.a establece como criterio básico de definición de lotes en tablero la unidad hormigonada de una vez. Si el tablero se hormigona de una vez, debe definirse un único lote. Si el tablero se hormigona por tramos, cada tramo constituye un lote. Si el tablero se hormigona por dovelas, cada dovela constituye un lote. La cantidad máxima de hormigón indicada en la tabla para un lote de tablero es una referencia que, de forma genérica, cumple con este criterio.

Para pilas, estribos y sus respectivas cimentaciones, se han definido cuatro lotes, uno por cada tipo de elemento porque en ninguno de los tipos se superan los volúmenes indicados en la tabla 95.1.a.

El número de inspecciones necesarias se ha establecido considerando en cada lote una inspección por cada una de las actividades citadas más arriba, con un mínimo de tres por lote

Cuando por razones de volumen de obra hay más de un lote por elemento estructural, en general, se repetirán las mismas inspecciones en cada lote.

En el caso de las cimentaciones, podría ocurrir que la estructura tuviera cimentación directa en algunas pilas y cimentación profunda en otras. En ese caso, deberían establecerse los lotes tratando los dos tipos de cimentación como dos tipos distintos de elemento; es decir, definiendo al menos dos lotes, uno para las cimentaciones directas y otro para las cimentaciones profundas. Además, si los volúmenes de obra lo requiriesen, debería establecerse más de un lote por cada tipo.

4.2. TABLERO CON ELEMENTOS PREFABRICADOS

Seguidamente se analiza el mismo ejemplo anterior, resuelto con un tablero constituido por una viga monocajón prefabricada y una losa de compresión hormigonada sobre prelosas de hormigón armado.

En el caso de la viga monocajón, es imprescindible –y debe confirmarse que así es– que se prefabriquen en una planta que disponga de un sistema de calidad auditado externamente. Para el control de la fabricación de la viga en la planta, el Plan de Control debe prever un lote. Además, debe controlarse el sistema de transporte, la geometría y estado general de la pieza cuando llegan a la obra, los aspectos de montaje y, si es el caso, la ejecución de la continuidad estructural, que suele hacerse hormigonando las juntas con un mortero de retracción y usando barras pretensadas.

Del mismo modo, las prelosas, deben ser prefabricadas en una planta que disponga de un sistema de calidad auditado externamente, y así debe ser confirmado por el control de recepción. Para el control de la fabricación de estas prelosas en la planta, el Plan de Control debe prever al menos un lote en un tablero de estas dimensiones. Adicionalmente, es necesario el control del transporte, geometría y estado general de las piezas y montaje de las mismas sobre la viga monocajón.

Por último, quedaría el control de la losa de compresión del tablero, con un volumen pequeño en este caso, del orden de 160 m³, que se ferralla y se hormigona *in situ*.

En síntesis, en el tablero debe controlarse:

1. La ejecución de las prelosas en la planta de prefabricación. Esto supone el control de los siguientes procesos:
 - 1.1. Geometría y estado de los encofrados.
 - 1.2. Colocación de la ferralla.
 - 1.3. Proceso de hormigonado y curado.
2. La ejecución de la viga cajón en la planta de prefabricación. Esto supone el control de los siguientes procesos:
 - 2.1. Geometría y estado de los encofrados.
 - 2.2. Colocación de la ferralla y armaduras activas.
 - 2.3. Puesta en tensión de las armaduras pretesas.
 - 2.4. Proceso de hormigonado y curado.
3. El transporte, estado general y geometría de las vigas cajón en obra, así como la documentación acreditativa de cada elemento.
4. El montaje, posicionamiento de las vigas cajón.
5. El transporte, documentación, estado general y geometría de las prelosas en obra.
6. La colocación de las prelosas.
7. La colocación de las armaduras.
8. El proceso de hormigonado y curado de la losa *in situ*.

Del análisis de estos aspectos, resulta que los lotes e inspecciones que deberían plantearse para un tablero de este tipo son los que se muestran en la tabla siguiente, donde los valores para las cimentaciones, alzados y acabados están tomados del ejemplo anterior.

TIPO DE ELEMENTO		LOTES	INSPECCIONES
CIMENTACIONES	Pilas	1	3
	Estribos	1	3
ALZADOS	Pilas	1	3
	Estribos	1	3
TABLERO	Fabricación viga y prelosas	1	7
	Resto de construcción	1	6
ACABADOS		1	3

El control de ejecución que se requiere para los puentes de hormigón es un control de recepción, es decir, un control externo ejercido por la Administración. Como tal, es complementario del control interno, que debe ser llevado a cabo por el Constructor.

Para la realización del control de ejecución, el Director de las Obras suele contar con una Asistencia Técnica, que debe desarrollar las actividades siguientes:

1. Elaboración de un Plan de Control específico para cada puente.
2. Realización de las inspecciones definidas para cada lote y registro documental de las inspecciones y sus incidencias.
3. Disposición de personal con formación y experiencia acreditadas para realizar las inspecciones visuales con que se lleva a cabo este control.
4. Preparación de la documentación del control de ejecución, que deberá recogerse en la Documentación Final de la Obra.
5. Verificación de que el Constructor dispone de un sistema de calidad auditado exteriormente o, en su defecto, que define uno específico para la obra, que la Asistencia Técnica deberá auditar.
6. Verificación, asimismo, de que los subcontratistas que elaboren productos en instalaciones fijas (ferralla o elementos prefabricados, por ejemplo) disponen de un sistema de certificación voluntario.
7. En caso que no se cumpla alguna de las dos condiciones anteriores, se verificará que se han puesto a punto unos procedimientos específicos para llevar a cabo el control interno de las todas las actividades involucradas en la obra. Además, y con independencia de lo anterior, se llevarán a cabo, durante la fabricación de los productos, las inspecciones pertinentes del control de recepción.