

## SOSTENIBILIDAD DE LAS CARRETERAS Y DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

MANUEL BURÓN MAESTRO

*DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS*

CARLOS JOFRÉ IBÁÑEZ

*INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS*

*INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (IECA)*

El texto recoge los aspectos a considerar cuando se quiere evaluar la sostenibilidad de una carretera, incluyendo las estructuras de hormigón que forman parte de ella, las soluciones técnicas más convenientes para aumentar dicha sostenibilidad y la importancia del análisis del ciclo de vida como herramienta para evaluarla, ya que es necesario cuantificar todos los aspectos, económicos, sociales, medioambientales y energéticos, a largo plazo.

### Introducción

La red viaria que conforman las carreteras, incluyendo las estructuras que forman parte de ellas, es un elemento fundamental en la ordenación del territorio, la configuración del paisaje común y en el resultado de la actividad de construcción con que la sociedad configura el espacio físico para modelarlo a su conveniencia. Por tanto, es importante analizar los aspectos que influyen en la cuantificación de la sostenibilidad de las carreteras y de las estructuras, mayoritariamente de hormigón, que forman parte de ellas, al objeto de conocer aquellas pautas de actuación que son más eficaces para aumentar la sostenibilidad de lo construido.

El concepto de sostenibilidad como condición necesaria para el desarrollo sostenible y como criterio global de elección es aplicable directamente a las carreteras. Realmente es aplicable a cualquier actividad humana que tenga vocación de perdurar generación tras generación especialmente si, para ello, necesita recurrir al consumo de recursos naturales y de energía no renovable; pero su aplicación al proyecto y construcción de carreteras es muy interesante por diversas connotaciones específicas de las mismas. Dicha aplicación propicia un ejercicio de reflexión lleno de interés.

De hecho, el empleo del índice de sostenibilidad como criterio global para tomar

decisiones descubre, más bien pone en primer plano, otras consideraciones, más allá de las medioambientales, de indudable importancia.

## 1. Aspectos generales

La sostenibilidad es una característica de la actividad humana que evalúa la capacidad que tal actividad tiene para ser desarrollada permanentemente, durante generaciones, y consumiendo aquéllos recursos naturales imprescindibles en las menores cantidades posibles, de modo que el desarrollo actual de dicha actividad no comprometa la posibilidad de que las próximas generaciones puedan seguir desarrollándola. Este concepto tiene una gran amplitud ya que la acción de consumir hay que entenderla como cualquier disminución o perjuicio de los recursos disponibles, entroncando de este modo, y de forma directa, con la protección del medio ambiente.

Obviamente cualquier actividad con pretensiones de desarrollarse debe aunar, a la satisfacción de una necesidad requerida por la sociedad, unas condiciones que merezcan una valoración positiva de su desarrollo, tanto desde el punto de vista económico (dicha actividad debe ser económicamente viable) como social (dicha actividad debe desarrollarse en unas condiciones de trabajo saludables para las personas que la ejercen).

Por lo tanto, la sostenibilidad es una expresión de responsabilidad social que tiene que ver con el ahorro de recursos naturales no renovables, con el respeto al medio ambiente y que se aplica en el tiempo. Forman parte de ella:

- aspectos de ahorro (energético, de recursos naturales, etc.),
- aspectos medioambientales (control de emisión de gases de efecto invernadero, valorización de residuos, etc.),
- aspectos sociales (generación de empleo, seguridad y salud en el trabajo, etc.),
- aspectos económicos (productividad, eficiencia en la accesibilidad al producto, etc.).

La sostenibilidad es un parámetro relativo que se emplea siempre para comparar. No existen actividades sostenibles, como valor absoluto. Existen actividades más o menos sostenibles en comparación con otras.

Cuando se cuantifica la sostenibilidad de dos actividades o dos productos diferentes, se pretende compararlos entre sí y, por tanto, dicha cuantificación debe realizarse con un procedimiento homogéneo que partirá de que ambas actividades o productos cubren la misma necesidad con idénticos requisitos. Dicha cuantificación se hace globalmente, con ánimo de integrar en ella la totalidad de los aspectos a considerar. Ello lleva a realizarla en un periodo largo de tiempo durante el cual se producirán todas las circunstancias previsibles y se manifestarán todos los aspectos valorables. Este periodo se identifica con el ciclo de vida del producto que el desarrollo de la actividad en cuestión crea para satisfacer la necesidad demandada.

Dicho producto final tiene, a lo largo de su vida útil, un balance de consumos (gastos menos ahorros) y de impacto ambiental (deterioros menos correcciones) necesarios para la producción de las materias primas, para la elaboración del producto como tal, para la utilización de dicho producto final por parte de los usuarios a lo largo de la vida útil de aquél, para reducir a residuos, y deshacerse de los mismos, el citado producto final ya obsoleto e inservible.

La suma de todos los consumos e impactos dividida por el tiempo de vida útil en que el producto final considerado ha servido a la sociedad (a los usuarios del mismo) es un valor que forma parte del índice que cuantifica la sostenibilidad del producto final evaluado. Cuanto menor es este valor mayor es la sostenibilidad de la actividad o del producto evaluado.

Tras aplicar el mismo procedimiento de evaluación desde cada uno de los aspectos considerados en la sostenibilidad (aspecto sociales, económicos, medioambientales y energéticos) y utilizando los coeficientes de ponderación necesarios que permitan, como si de unidades homogéneas se tratara, operar con los diferentes índices parciales de sostenibilidad, se obtiene un valor total, o agregado, que es el índice de sostenibilidad o índice que cuantifica la sostenibilidad del producto final evaluado.

Por tanto, para medir la sostenibilidad es necesario acordar, previamente, un modelo de cuantificación y tratamiento del análisis del ciclo de vida en el que se establezcan los criterios de valoración y de ponderación a aplicar.

## 2. La carretera como objeto sostenible y como oportunidad de aumentar la sostenibilidad global

Cuando el producto final a considerar, a la luz de la sostenibilidad, es la carretera, podemos observar que, por las características específicas de las obras correspondientes, en cuanto a los materiales que pueden resultar adecuados para alguna parte de la sección tipo, es posible analizar la mayor o menor sostenibilidad de la carretera que se proyecta o construye y, además, también es posible analizar las oportunidades que dicha carretera ofrece para valorizar residuos empleándolos como materiales de construcción no tradicionales e incluso no estrictamente necesarios, pero que su utilización proporciona una mejora relevante para la conservación del paisaje o del medio ambiente en términos globales.

El primero de los análisis citados considera a la carretera como un objeto más o menos sostenible y el segundo pone de manifiesto la capacidad que la carretera tiene para ser utilizada como una oportunidad para aumentar la sostenibilidad de otras actividades y, por tanto, de contribuir a un desarrollo más sostenible del conjunto de la sociedad.

Es evidente que una carretera en la que se valorizan residuos, además de contribuir a un incremento de la sostenibilidad global, también incrementa su propio índice de sostenibilidad.

La jerarquía en la valoración de residuos establece un nivel superior para los modos de valoración que recuperen los residuos haciendo que formen parte de un "nuevo" material que mantiene las mismas prestaciones que el material tradicional, obtenido directamente desde las materias primas correspondientes y sin aportación alguna de residuos.

Cuando el modo de valoración de los residuos es el reciclaje se alcanza un nivel inferior, obteniendo materiales reciclados cuyas prestaciones son inferiores, en mayor o

menor medida, a las que ofrece el material tradicional anteriormente descrito.

Desde un punto de vista global, siempre es más interesante para el conjunto de la sociedad la recuperación de residuos. Previsiblemente, los trabajos de I+D+i propiciarán dicha recuperación en la carretera, donde el empleo de áridos reciclados evolucionará hasta llegar a convertirse en la utilización de áridos recuperados de residuos de construcción.

La recuperación de residuos reduce el consumo de la materia prima y el proceso necesario para la producción u obtención del material sustituido por el residuo recuperado que, sometido al proceso correspondiente, ofrece las mismas prestaciones que aquel y, al mismo tiempo, evita un vertedero y los problemas paisajísticos y medioambientales que dicho vertedero genera. Por ello es una actividad de gran impacto positivo en el desarrollo sostenible que vendrá de la mano de la carretera.

### Firme de hormigón compactado con rodillo.



## 3. Balance de consumos e impacto ambiental en la carretera

Cuando el producto final a considerar, en términos de sostenibilidad, es la carretera, cabe plantear el siguiente balance de consumos e impacto ambiental.

- A corto plazo, durante:
  - la obtención de materias primas,
  - la producción de materiales,
  - la ejecución de la construcción.

- A largo plazo, durante:
  - la vida de servicio, es decir el balance de consumos del usuario durante la utilización de la carretera,
  - la conservación y el mantenimiento de dicha carretera,
  - la deconstrucción o demolición de la carretera después de su vida útil, ya obsoleta e inservible, o,
  - la rehabilitación de la propia carretera para prolongar su vida de servicio, recuperando los materiales propios de aquella, o,
  - la recuperación de los residuos propios de la demolición, que de este modo se aprovechan.
- A corto y a largo plazo, mediante:
  - la recuperación en la carretera de residuos de procedencia ajena a la propia carretera, que de este modo se aprovechan, con la máxima jerarquía dentro del procedimiento de valorización de residuos aumentando, de esta manera, la sostenibilidad, global y la propia de la carretera,
  - el reciclaje en la carretera de residuos ajenos que, con una menor jerarquía dentro del procedimiento de valorización de los mismos, se aprovechan contribuyendo también, aunque en menor medida, al aumento de la sostenibilidad, global y la propia de la carretera.

En general, al cuantificar la sostenibilidad de la carretera, el balance de consumos e impacto ambiental a corto plazo, es inferior al mismo balance realizado a largo plazo, procediendo en ambos casos tal como se ha descrito anteriormente.

Considerando el balance completo, a lo largo de toda la vida útil y el posterior proceso de rehabilitación o demolición, cabe analizar el proceso de sostenibilidad de la carretera durante las diferentes fases por la que pasa, a saber:

- concepción (planificación, estudio informativo, previsión de corredores),
- proyecto (proyecto de trazado, proyecto de construcción),
- ejecución,
- explotación (consumo del usuario y gastos de mantenimiento y conservación).

En todas ellas se toman decisiones que afectan decisivamente a la sostenibilidad de la carretera.

## Construcción de firme de hormigón vibrado con pavimentadora de encofrados deslizantes.



## 4. Planificación favorable al aumento de la sostenibilidad

Las primeras etapas de concepción de la carretera tienen una importancia decisiva en la mayor o menor sostenibilidad de la misma. Es en esta etapa cuando los aspectos relacionados con el interés social se sustancian.

También es una etapa en la que se pueden enunciar criterios a seguir en el Proyecto de Trazado que redundarán en una mayor sostenibilidad. Es importante considerar:

- Limitar la altura de los terraplenes, la longitud y ubicación de los mismos. El terraplén es la solución más "dura" y la de mayor afección paisajista como interrupción del sistema orográfico de los valles. Los terraplenes altos pueden producir asientos por fluencia apreciables, de modo que pueden convertirse en fuente de gastos de conservación y mantenimiento periódicos.

Obviamente, el terraplén debe permeabilizarse para no interrumpir los cursos del agua, los posibles torrentes en épocas muy lluviosas y para permitir que la fauna transite por el valle y tenga acceso fácil a aquellos puntos en los que pueda beber.

Por todo ello, en múltiples ocasiones, las estructuras pueden sustituir a los terraplenes con ventaja, propi-

ciando soluciones bien integradas en el paisaje y muy respetuosas con el medio ambiente, y aumentando la sostenibilidad de la carretera.

- Realizar un primer balance del consumo de combustible que los usuarios realizarán durante la vida útil de proyecto en función de la pendiente y de la longitud permitirá establecer criterios para minimizar dicho consumo y las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al mismo.

El cumplimiento del protocolo de Kyoto exige la reducción de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero, en su mayor parte CO<sub>2</sub>. La mayor parte de ellas se agrupan en lo que denominamos emisiones de origen difuso y, entre estas, las producidas por el tráfico de vehículos son relevantes. Por ello es importante que la carretera contribuya a dicha reducción.

## Rehabilitación de autopista mediante un nuevo firme de hormigón.



### 5. Proyecto favorable al aumento de la sostenibilidad

El Proyecto, en sus diversas fases o modalidades, define la carretera y, por tanto, es un elemento básico para aumentar la sostenibilidad de la misma.

En el Proyecto de Trazado deben considerarse los criterios puestos anteriormente al hablar de la Planificación.

En cuanto a la previsión de los cantos de las estructuras es conveniente considerar que el hormigón armado o pretensado ofrece estructuras de elevada sostenibilidad y constituye un material muy adecuado para aumentar la sostenibilidad de la construcción.

El empleo del hormigón en las estructuras de la carretera proporciona:

- una vida útil muy elevada,
- reduce los gastos de conservación y mantenimiento a valores irrelevantes,
- es recuperable al final de su vida útil, pudiendo formar parte, como material granular recuperado, de otras carreteras u otras construcciones.

En el Proyecto de Ejecución es conveniente estudiar el mejor aprovechamiento de los productos de las excavaciones en la propia traza, evitando incrementar las actividades extractivas necesarias para la obtención de préstamos. En este sentido, el empleo de suelos y explanadas estabilizadas mediante cemento o mediante cal y cemento, en función del tipo de suelo a tratar, mejora las propiedades del terraplén y de su coronación y permite el empleo de suelos más accesibles y una mejor compensación de los volúmenes de desmonte y terraplén en el ámbito de la propia carretera. El balance global de estas soluciones resulta, en general, favorable al aumento de la sostenibilidad.

El empleo de firmes con gastos de conservación y mantenimiento irrelevantes es una decisión claramente favorable al aumento de la sostenibilidad de la carretera. En este sentido los firmes de hormigón, en sus diversas tipologías, son muy adecuados para obtener un aumento de la sostenibilidad, máxime si se tiene en cuenta que las condiciones de deformación de los mismos ofrecen a los vehículos unas condiciones de rodadura tales que disminuye el consumo de combustible de dichos vehículos usuarios a lo largo de toda la vida útil de la carretera.

Además, el empleo de estos firmes que evitan las obras de repavimentación periódica, reduce los costes y consumos empleados en las mismas y evita, también, las restricciones de tráfico que ellas generan, con la disminución asociada



del nivel de servicio de la carretera, el incremento de los tiempos en el recorrido, el incremento de consumo de combustible de los vehículos usuarios y el incremento del riesgo de accidentes que generan. En consecuencia, evitar todos estos inconvenientes es aumentar la sostenibilidad de la carretera.

En el paquete de firme, el empleo de materiales granulares tratados con cemento, que actúa como conglomerante del conjunto, para obtener las prestaciones mecánicas requeridas y una mayor resistencia frente al agua y, en consecuencia, mayor durabilidad, también aumenta la sostenibilidad de la carretera.

Este tipo de decisiones facilita e impulsa la actividad de I+D+i para alumbrar nuevas soluciones que desarrollen plenamente la potente capacidad que la carretera tiene como oportunidad para aumentar la sostenibilidad global del modo expuesto anteriormente.

Cuando resulten procedentes, las actuaciones de rehabilitación de carreteras existentes mediante escarificado del firme existente, incluida la capa de rodadura, mezclado en frío del conjunto así obtenido con cemento, que actuará como conglomerante para conferir las características requeridas al nuevo firme, y recolocación del mismo mediante la maquinaria adecuada actuando en tandem para dar lugar a un proceso continuo de ejecución, son soluciones de elevada sostenibilidad que permiten el refuerzo y adecuación de las carreteras deterioradas para hacer frente a un nuevo periodo de vida útil en buenas condiciones de servicio.

Si se prevé la contaminación relevante del agua drenada por la carretera, la disposición de pequeñas estaciones de filtrado y separación de grasas, antes del vertido libre de la red de drenaje al terreno natural, evita la contaminación del suelo y de las aguas profundas, lo que aumenta la sostenibilidad de la carretera construida.

El estudio de impacto ambiental y el establecimiento de las medidas correctoras es un elemento básico para establecer estrategias concluyentes en el aumento de la sostenibilidad de la carretera.

Suelocemento.



## 6. Ejecución favorable al aumento de la sostenibilidad

Durante la ejecución de las obras de la carretera de acuerdo con un Proyecto favorable al aumento de la sostenibilidad, la principal aportación a dicho aumento se realiza optimizando el proceso de ejecución desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales y de la aplicación de planes de seguridad y salud en obra cuyo objetivo sea "accidentes cero".

La optimización del proceso de ejecución desde el punto de vista económico y la elección de maquinaria y medios auxiliares que minimicen el consumo de energía no renovable y el consumo de combustible que conlleva la producción de emisiones de gases de efecto invernadero, también contribuye decisivamente al aumento de la sostenibilidad de la carretera construida. Así mismo el incremento de la productividad en la realización de los trabajos también contribuye, de manera relevante, al aumento de la sostenibilidad.

El Plan de Protección del medio ambiente durante la ejecución de las obras, que debe incluir, además, las pautas para la gestión de los residuos que la propia obra genera, es una herramienta fundamental para, desde la responsabilidad de la ejecución, actuar a favor del aumento de la sostenibilidad.

En la elección de los materiales a emplear en la obra, se deben primar aquellos que redunden en la obtención de un mayor índice de sostenibilidad.

Desarrollar, en un futuro próximo, índices de sensibilidad medioambiental que reflejen la sensibilidad, como valor positivo que se traduce en un aumento de la sostenibilidad, de los materiales y procedimiento de ejecución propios de la carretera para ser más respetuosos con el medio ambiente, permitirá, a semejanza del modelo desarrollado para las estructuras de hormigón en la nueva Instrucción EHE-08, incrementar la contribución de la carretera construida a la sostenibilidad, tanto en el nivel de Proyecto como al término de la ejecución.

Reciclado con cemento.



## 7. I+D+i favorable al aumento de la sostenibilidad

Los trabajos en el ámbito de la Investigación, Desarrollo e Innovación que tengan como objeto la carretera tienen la responsabilidad de proponer soluciones que redunden en un aumento de la sostenibilidad de la misma. En este sentido tendrán especial interés aquellos orientados a proponer soluciones innovadoras basadas en el aprovechamiento óptimo de la oportunidad que la carretera ofrece para obtener aumentos de la sostenibilidad global, en los términos expuestos anteriormente.

Probablemente, la valorización de residuos de la construcción en la carretera resulte del máximo interés.

Estabilización de explanada.



## 8. La carretera más sostenible

Una carretera será más sostenible si:

- Es ampliamente permeable y facilita el paso de la fauna y del agua en dirección transversal al eje de la traza.
- La solución construida reduce al máximo los costes de conservación y mantenimiento.
- Los terraplenes son de altura moderada.
- Las estructuras están bien integradas en el paisaje.
- El trazado, especialmente las pendientes empleadas, minimiza el gasto de combustible de los vehículos usuarios.

- Optimiza la compensación de volúmenes de desmonte y terraplén.
- Minimiza la obtención de préstamos.
- Optimiza la valorización de residuos empleándolos como materiales mediante procesos de recuperación, disminuyendo así los volúmenes de vertedero.
- Emplea suelos y explanadas estabilizadas con cemento o mediante cal y cemento.
- Utiliza estructuras más sostenibles empleando hormigón en masa, armado o pretensado.
- Emplea firmes rígidos de hormigón.
- En el firme utiliza materiales granulares tratados con cemento.
- Cuando sea procedente, se rehabilita la carretera existente mediante el empleo, en frío, de cemento como conglomerante.
- Se controla, y en su caso se trata, el agua de la red de drenaje antes de verterla.
- Se dispone de un estudio de impacto ambiental con las medidas correctoras a que haya lugar.
- Se realizan las obras bajo un Plan de Seguridad y Salud en obra que tiene como objetivo la erradicación de accidentes.
- La maquinaria, los medios auxiliares y los procedimientos empleados en la construcción esta sometidos a un plan para minimizar los costes y para minimizar, también, el consumo de energía no renovable y de combustible emisor de gases de efecto invernadero.
- Los procesos de ejecución empleados en la construcción están sometidos a un plan para maximizar la productividad.
- Minimiza el consumo de áridos naturales.
- Se utilizan áridos procedentes de procesos de reciclado.
- Se recuperan zonas de cantera después de realizar en ellas las correspondientes actividades de tipo extractivo.
- Todo el proceso, tanto la obtención de materias primas como de fabricación de materiales y el propio proceso de construcción, se desarrolla, voluntariamente, bajo un sistema de gestión ambiental certificado.
- Se utilizan cementos con adiciones.
- Se utilizan cementos producidos bajo directrices que emanan de marcos jurídico-administrativos fundamentados en el cumplimiento del protocolo de Kyoto.
- Se utilizan cementos obtenidos por procesos que incorporen materias primas que produzcan menos emisiones de CO<sub>2</sub>, o que consuman menos energía proporcionada por combustibles primarios (fósiles), o que empleen combustibles alternativos (no fósiles), o que se obtengan mediante procesos que consumen, valorizándolos como combustibles, residuos industriales o de cualquier otro tipo que son, así, recuperados.
- Se optimiza la calidad del hormigón y se reduce la cuantía de las armaduras.
- Se emplea, en la fabricación del hormigón, agua reciclada.
- Se reduce el consumo de materiales de modo compatible con el cumplimiento de las exigencias de durabilidad.
- Se emplea hormigón de calidad tal que permite aumentar la vida útil de las estructuras.
- La innovación en los materiales y en los procedimientos de ejecución empleados permite aumentar la



productividad, la competitividad y la eficiencia en el acceso del usuario a la carretera.

## 9. Las estructuras más sostenibles

De modo análogo al indicado anteriormente, cuando el producto final a considerar es una construcción de hormigón cabe plantear el siguiente balance de consumos e impacto ambiental.

- A corto plazo, durante:
  - La obtención de materias primas.
  - La producción del hormigón.
  - La ejecución de la construcción.
- A largo plazo, durante:
  - La vida de servicio, es decir el balance de consumos del usuario durante la utilización de la construcción.
  - La evaluación y el mantenimiento de dicha construcción.
  - La deconstrucción o demolición de la construcción, después de su vida útil, ya obsoleta e inservible.
  - El reciclado de los residuos propios de la demolición que, de este modo, se aprovechan.

En general, al cuantificar la sostenibilidad de las construcciones, el balance de consumos e impacto ambiental a corto plazo, tal y como se ha descrito anteriormente, es muy inferior al mismo balance realizado a largo plazo en los capítulos indicados. En consecuencia, el resultado de dicha cuantificación es que el hormigón es un material muy adecuado para una construcción sostenible porque:

- El hormigón proporciona inercia térmica y reduce la demanda energética de la construcción y, por tanto, el consumo de energía que realizará el usuario durante toda la vida útil de dicha construcción.
- El hormigón proporciona a la construcción una vida útil muy elevada.

- El hormigón proporciona una elevada resistencia última al fuego, aumentando la seguridad de las personas y de los patrimonios y evitando daños colaterales de gran relevancia social.
- El hormigón ofrece un aislamiento acústico suficiente para asegurar el confort del usuario, ahorrando el consumo de otros materiales.
- El hormigón reduce los gastos de conservación y mantenimiento, durante la vida útil de la construcción, a valores irrelevantes.
- El hormigón, al final de su vida útil, es reciclable, pudiendo formar parte, como material granular reciclado, de nuevas construcciones.

### Puente atirantado. Hormigón prefabricado postesado.



El decidido compromiso con el medio ambiente y la innovación que la industria fabricante del cemento lleva a cabo para aumentar la sostenibilidad del mismo, reduce notablemente el balance de consumos e impacto ambiental a corto plazo, durante la obtención de las materias primas para la fabricación del hormigón, aumentando la sostenibilidad de la construcción que emplea este material.

El cumplimiento del protocolo de Kyoto, la valorización de residuos, tanto en el caso de utilizarlos como componentes (adiciones) como en el caso de emplearlos como combustibles alternativos, el control de incineración de residuos, especialmente de los compuestos orgánicos persistentes; la aplicación de las mejores técnicas disponibles de producción, la implan-

tación de sistemas de gestión medioambiental certificados y la prevención y minimización de riesgos laborales que se realiza, todo ello, durante el proceso de producción del cemento, aumenta la sostenibilidad de la construcción de hormigón.

La valorización de residuos, tanto industriales como urbanos, completa la gestión de los mismos, evita los vertederos y las emisiones de gases por fermentación que en ellos se producen, evita procesos de incineración de residuos a temperatura insuficiente para la destrucción de los compuestos orgánicos y, en definitiva, forma parte de cualquier política medioambiental integral y responsable.

La reducción de consumos e impacto ambiental a corto plazo es, cuantitativamente, menos importante, en el caso de la construcción de hormigón, que la reducción que se produce, en los mismos conceptos, a largo plazo durante la vida útil de lo construido y, por tanto, la sostenibilidad de dicha construcción está más influida por el comportamiento de la construcción ya en servicio que por la obtención de materias primas y el proceso constructivo. No obstante, el empeño en mejorar la sostenibilidad en el periodo inicial de la actividad (corto plazo) mejorando los procesos de obtención de materias primas y el proceso constructivo, es una forma positiva de contribuir a alcanzar una mayor sostenibilidad y, en este sentido, es un ejercicio de responsabilidad social.

### Puente de hormigón prefabricado con postesado exterior.



En definitiva, una construcción de hormigón será más sostenible cuando en ella:

- todo el proceso, tanto la obtención de materias primas como el propio proceso constructivo, se desarrolle

bajo un sistema de gestión medioambiental, certificado voluntariamente,

- se utilicen cementos con adiciones,
- se utilicen cementos producidos bajo directrices que emanan, de marcos jurídico-administrativos fundamentados en el cumplimiento del protocolo de Kyoto,
- se utilicen cementos obtenidos por procesos que incorporen materias primas que produzcan menos emisiones de CO<sub>2</sub>,
- se utilicen cementos obtenidos por procesos que incorporen materias primas que necesiten menos temperatura de cocción,
- se utilicen cementos obtenidos consumiendo menos energía proporcionada por combustibles primarios (fósiles), empleando combustibles alternativos no fósiles,
- se utilicen cementos obtenidos por procesos que consumen, valorizándolos, residuos industriales o de cualquier otro tipo, disminuyendo los volúmenes de vertedero,
- se utilicen, para la fabricación del hormigón, áridos procedentes de procesos de reciclado,
- se recuperan zonas de cantera, después de realizar en ellas las correspondientes actividades de tipo extractivo,
- se utilicen, para la fabricación del hormigón, agua reciclada,
- se optimice la calidad del hormigón y se reduzca la cuantía de las armaduras,
- se reduzca el consumo de materiales de modo compatible con el cumplimiento de la exigencias de durabilidad,
- se emplea hormigón de calidad tal que permita alargar la vida útil de las construcciones,
- la reglamentación de seguridad y salud en el trabajo regula todas y cada una de las actividades desarrolladas durante todos los procesos y se impulsa la erradicación de accidentes,
- la innovación de los procedimientos aumenta la productividad, la competitividad y la eficiencia en el acceso del usuario a las construcciones,
- se sigan las especificaciones que, a este fin, incluye la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08, especialmente aquéllas que determinan el mayor índice de sensibilidad medioambiental y, consecuentemente, el mayor índice de contribución a la sostenibilidad de la estructura que se planifique, proyecte o construya.



### 10. Conclusiones

Para abordar la sostenibilidad de la carretera hay que contemplar ésta como lo que es, una inversión a largo plazo en la que el coste de ejecución es simplemente el coste de la inversión inicial.

El coste real, el coste para la sociedad, es el coste total calculado a largo plazo y se deberá sumar al coste de ejecución el correspondiente a la conservación y mantenimiento a lo largo de la vida útil o vida de servicio, así como los costes de explotación que equivalen a los coste en que incurren los usuarios cuando la utilizan durante dicha vida útil. Obviamente, el planteamiento económico expuesto corresponde a una carretera pública en la que no se producen ingresos directos de explotación.

Este planteamiento económico, que es bien claro, equivale, en otros términos, al balance, a lo largo de la vida útil, de los aspectos sociales, energéticos o medioambientales propio del análisis de la sostenibilidad.

El análisis de la sostenibilidad de la carretera permite elegir y decidir con una visión global y evidencia la necesidad de utilizar criterios, también criterios económicos, que evalúen y valoren la carretera a largo plazo.



- ISO 14040: Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
- ISO 14044: Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.
- ISO/DIS 15686-5: Building and constructed assets. Service life planning. Life cycle costing.
- ISO/TC 59/SC 17/WG 3N: Building construction. Sustainability in building construction. Environmental declaration of building products.
- ACI SP-145 Durability of Concrete (1994).
- Aguado, A.: "Aplicación de índices de sostenibilidad medioambiental al proyecto de estructuras de hormigón". Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible. CEDEX-ACHE. Madrid, septiembre 2006.
- Bardesi, A.: "Ejecución de estabilizaciones de suelos in situ con cemento". Curso sobre mezclas con cemento. Intevía, marzo 1996.

- Burón, M.: "Cementos para hormigones más sostenibles". Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible. CEDEX-ACHE. Madrid, septiembre 2006.
- Burón, M.: "La sostenibilidad de las construcciones de hormigón". Cemento-Hormigón nº 897, enero 2007.
- Burón, M.; Jofré, C.: "Evaluación global de la sostenibilidad de una carretera y vías de mejora". Carreteras nº 160 Julio-Agosto 2008.
- Carrascón, S.; Aguado, A.; Josa, A.: "Evaluación medioambiental de productos de hormigón mediante el análisis del ciclo de vida". Cemento-Hormigón nº 898, febrero 2007.
- Carrau, J.M.: "Sostenibilidad y hormigón preparado". Nuevas tendencias del hormigón en el ámbito de una construcción sostenible". CEDEX-ACHE. Madrid, septiembre 2006.
- Cemento-Hormigón: "Pavimentos de hormigón para autovías y autopistas". Nº 664, 1989.
- Díaz Minguela, J.: "Ejecución y control de calidad de explanadas estabilizadas" Curso sobre explanadas estabilizadas y reciclado de firmes. Intevía, noviembre 1999.
- Díaz Minguela, J.: "Puesta en obra de mezclas tratadas con cemento" Curso sobre mezclas con cemento. Intevía, 1996.
- Díaz Minguela, J.: "Formación de explanadas mediante estabilización de suelos in situ; su influencia en el comportamiento". IV Congreso Nacional de Firmes. Segovia, junio 1999.
- Jofré, C.: "Reciclado en frío con cemento. Diseño y aplicaciones". Reciclado de firmes y pavimentos. Intevía, septiembre 1996.
- Jofré, C.: "Reciclado en frío con cementos. Puesta en obra". Reciclado de firmes y pavimentos. Intevía, septiembre 1996.
- Jofré, C.: "Reciclado con cemento de firmes existentes". Revista Carreteras nº 77, mayo-junio 1995.
- Jofré, C. y Vaquero, J.: "Prefisuración de capas tratadas con cementos". Revista Carreteras nº 77, mayo-junio 1995.
- Jofré, C.: "Balance del empleo de las técnicas de prefisuración de bases tratadas con cemento en España. Rutas nº 54, mayo-junio 1996.
- Jofré, C.: "Cementos a utilizar en la estabilización de explanadas y reciclado de firmes". Curso sobre explanadas estabilizadas y reciclado de firmes. Intevía, noviembre 1999.
- Jofré, C.: "Equipos para la mezcla in situ". Curso sobre explanadas estabilizadas y reciclado de firmes. Intevía, noviembre 1999.
- Jofré, C.; Kraemer, C.; Díaz Minguela, J.: "Manual de firmes reciclados in situ con cemento". IECA, 1999.
- Jofré, C.: "Características de materiales reciclados in situ con cemento". Curso sobre explanadas estabilizadas y reciclado de firmes. Intevía, noviembre 1999.
- Kraemer, C.: "La reflexión de fisuras de las bases de gravacemento y hormigón compactado: causas y remedios". Rutas nº 54, mayo-junio 1996.
- Ruiz, A.: "Estabilización de explanadas con cemento. Jornadas sobre reciclado con cemento de firmes". Cáceres, junio 1995.
- Vaquero, J.: "Nuevos tipos de cemento. Recomendaciones de uso para el reciclado de firmes". Segovia, junio 1999.